

E.S.CƏFƏROV

RADİOBİOLOGİYA



E.S.CƏFƏROV

RADİOBİOLOGİYA

Magistrlər üçün dərş vəsaiti

Dərş vəsaiti AMEA - nın Rəyasət heyətinin 31.10.2012-ci il tarixli № 6/4 sayılı Qərarına və Azərbaycan Respublikasının Təhsil Nazirliyinin 30.01.2014-cü il tarixli № 97 sayılı Əmrinə əsasən çap olunmuşdur

B A K I – 2014

Elmi redaktor : AMEA - nın akademiki, Əməkdar elm xadimi,
kimya elmləri doktoru, professor A.A.Qəribov.

- Rəyçi :** 1. BDU-nun "Bitki fiziologiyası" kafedrasının müdiri, Əməkdar elm xadimi, ABŞ - ın İllinoys Akademiyasının həqiqi üzvü, biologiya elmləri doktoru, professor N.A.Qasimov.
2. Bakı Dövlət Universitetinin biofizika və molekulyar biologiya kafedrasının professoru, fizika - riyaziyyat elmləri doktoru R.İ. Xəlilov.
3. AMEA – nın Radiasiya Problemləri Institutunun "Enerji qənaətedici radiasiya prosesləri" laboratoriyasının müdiri, kimya elmləri doktoru, professor İ.İ.Mustafayev

Cəfərov E.S. Radiobiologiya. Dərs vəsaiti.

Bakı, "Elm" nəşriyyatı, 2014, 324 s.

İSBN 978-9952-495-35-5.

Dərs vəsaitində Radiobiologiyanın yaranma və bir elm kimi formalaşma tarixi xronoloji ardıcılıqla verilmiş, əsas radiobioloji anlayışlar və onların vahidləri haqqında ətraflı məlumatlar verilmiş, radiasiya dozimetriyası, radiasiya səviyyəsinə nəzarət üsulları, təbii və süni radiasiya mənbələri şərh edilmişdir. Ayrıca fəsilə təbii radiasiya fonu, onun biosfer üçün əhəmiyyəti və orqanizmlərin normal böyümə və inkişafında roluna dair məlumatlar öz əksini tapmışdır. Vəsaitdə radiasiyanın bioloji təsirinə, kiçik dozalı radiasiya probleminə, kiçik dozalı radiasiyanın stimullaşdırıcı təsirinə, radiohəssaslıq və radiorezistentlik problemlərinə xüsusi diqqət verilmişdir. Başqa bir fəsilə isə radionuklidlərin torpaqda və "torpaq - bitki" zəncirində miqrasiya xüsusiyyətlərinə dair məlumatlar toplanmışdır. Təqdim olunan material həm də müəllifin özünün apardığı tədqiqatların nəticələri ilə zənginləşdirilmişdir.

Dərs vəsaiti radiobiologiya, radioekologiya, radiologiya, biofizika, molekulyar biologiya ixtisaslarını seçmiş tələbələr üçün nəzərdə tutulmuşdur. Vəsaitdən bu sahədə çalışan müəllim və mütəxəssislər, həmçinin də radiobiologiya və radioekologiyanı sərbəst öyrənənlər istifadə edə bilərlər.

© "Elm" nəşriyyatı, 2014

Yaşadığımız mühitin radioekoloji vəziyyətinin günbəgün pisləşməsi bu gün təkcə bu sahənin mütəxəssislərini deyil, həm də geniş ictimaiyyəti narahat edir. Heç kəsə sirr deyil ki, bütün canlılar, o cümlədən də bizim hər birimiz kosmik radiasiyanın, yer qabığının üst təbəqələrində paylanmış və həm canlı orqanizmlərin, həm də onların qida məhsullarının tərkibinə daxil olan radioaktiv elementlərin yaratdığı təbii radiasiya fonunun fasiləsiz təsirinə məruz qalır. Əlavə olaraq, insanların texnogen fəaliyyəti, nüvə partlayışları, AES – lərdə (məsələn, Böyük Britaniyanın Uindskeyl, ABŞ-ın Tri Mayl Aylend, Ukraynanın Çernobil, Yaponiyanın Fukusima AES-lərində) və müxtəlif atom sənayesi müəssisələrində baş verən qəzalar planetimizin ayrı – ayrı ərazilərində radiasiya fonunun əhəmiyyətli dərəcədə artmasına səbəb olmuşdur. Ona görə də bu gün əhali arasında, haqlı olaraq, fəaliyyətdə olan və tikilməsi planlaşdırılan AES-lərə qarşı açıq-aşkar etiraz edənlərin sayı kifayət qədərdir. Həmçinin də atom sualtı qayıqlarında baş verən qəzalar, nüvə poliqlonları ərazilərində yaranmış mürəkkəb ekoloji vəziyyət, radioaktiv tullantıların daşınması və basdırılmasının yaratdığı problemlər və bu kimi çoxlu sayda digər hallar əhalinin bir qisminə psixoloji gərginlik və bəzən də hətta kiçik radiasiya səviyyəsinə qarşı belə qorxu hissləri (radiofobiya) yararmışdır. Qeyd edək ki, yaxın vaxtlara qədər radiasiya səviyyəsinə nəzarət etməyə imkan berən dozimetrik – radiometrik cihazlar yalnız radiasiya ilə əlaqəsi olan az sayda insanları maraqlandırırıdısa, bu gün bu cihazlara sahib olmaq istəyində olanlar kifayət qədərdir və əhalinin istifadəsi üçün müxtəlif tip məişət dozimetrlərinin işlənilib hazırlanması və istehsalı ilə onlarla dövlət müəssisələri məşğul olur.

Əgər ionlaşdırıcı şüalanmanın ekstremal təsirə malik olmasını və ətraf mühitin digər çirkləndiricilər ilə birgə təsir şəraitində onun sinerqetik effektlər (birgə təsirin ayrı-ayrı faktorların təsirinin cəmindən çox olması kimi fenomenlər) yarada bilməsini nəzərə alsaq, onda belə şəraitlərin canlı təbiətin ekoloji vəziyyətinə və insanların sağlamlığına əhəmiyyətli dərəcədə təsir edə bilməsinə heç bir şübhə qalmaz. Nəhayət, məlumdur ki, bu gün ionlaşdırıcı şüalanmadan çoxlu sayda xəstəliklərin müalicəsində, diaqnostik və terapevtik vasitə kimi geniş istifadə olunur. Ona görə həm sadalanan halların yaratdığı problemlərin dərk edilməsi, həm də radiasiya terapiyasından geniş istifadəyə və yeni texnologiyaların işlənilib hazırlanmasına olan yüksək tələbat əhalinin bu sahədə müəyyən biliklərə malik olması zərurətini yaratmışdır. Bu baxımdan, hazırlanan vəsait mühüm əhəmiyyət kəsb etməklə yanaşı, həm də çoxlu sayda elmi və sosial məsələlərlə diktə olunmuşdur.

Radiobiologiya - ionlaşdırıcı şüalanmanın canlı orqanizmlərə təsirini öyrənən elm sahəsidir. Canlı orqanizmlərin radiasiyaya qarşı həssaslığı, onların radiasiyanın zərərli təsirlərinə qarşı davamlılığı (radiasiyanın zərərli təsirlərinə müqavimət göstərə bilməsi), həmçinin də radiasiya şəraitinə uyğunlaşması və s. kimi problemlərin mexanizmlərinin aydınlaşdırılması radiobiologiya elminin əsas tədqiqat istiqamətlərindən hesab olunur. Adı çəkilən tədqiqat istiqamətlərində bu problemlər radiorezistentlik, radioadaptasiya, radiostimullaşma adlandırılır.

Qeyd edim ki, kompleks elm sahəsi olan Radiobiologiya XX əsrin elmi hesab olunur. Bu elm sahəsi fiziklərin, kimyaçıların, riyaziyyatçıların, həkimlərin, biofiziklərin, molekulyar biologların, klassik biologiyanın müxtəlif sahələrinin mütəxəssislərinin səy və bacarıqlarının birləşdirilməsini tələb edən elm sahəsidir.

Müəyyən olunmuşdur ki, ionlaşdırıcı şüalanmanın təsiri canlı orqanizmlərin molekulyar, hüceyrə, toxuma və ayrı-ayrı orqanlar kimi hər bir struktur səviyyəsində bir çox dönmə və dönməz proseslər yaradır. Birinci struktur səviyyəsində orqanizmi təşkil edən molekulların həyəcənlanması, ionlaşması və dissosiasiyası baş verir. Bu proseslər, öz mahiyyəti etibarlı ilə, radiasiyanın təsirinin ilkin təzahür formalarıdır və onlar növbəti proseslər üçün zəmin yaradır. Nəzərə alsaq ki, orqanizmin çox hissəsini su təşkil edir və biokimyəvi proseslərdə suyun radiolizi mühüm rolə malik olur, onda molekulyar səviyyədə baş verən bu təsirin bir çox növbəti proseslər üçün başlanğıc ola biləcəyi heç bir şübhə doğurmur.

İonlaşdırıcı şüalanmanın bütövlükdə orqanizmdə, onun ayrı-ayrı toxuma və orqanlarında biokimyəvi proseslərin pozulmasına səbəb olması son nəticədə canlı toxuma hüceyrələrinin uzlaşdırılmış birgə fəaliyyətini tədricən pozur. Xüsusi tədqiqatlarla müəyyən edilmişdir ki, radiasiyanın təsiri ilə hüceyrələrin təbii bölünmə prosesi pozulur və onlar məhv ola bilər. Əgər şüalanmış hüceyrələr məhv olurlarsa və həyat fəaliyyətli qalırlarsa, onda onlar bədxassəli hüceyrələrin əcdadlarına çevrilir.

Bu gün kiçik dozalı ionlaşdırıcı şüalanmanın bir çox biokimyəvi proseslərin gedişində stimullaşdırıcı rolə malik olması və radiasiya zədələnmələrinin reparasiya proseslərinin, yəni hüceyrə və orqanizmlərin şüalanmanın yaratdığı zədələnmələri aradan qaldıra bilmək qabiliyyətinə malik olması (radiasiya "zədələnmələrini" reparasiya edən sistemin "fəallaşması") faktlarının kəşf olunması Radiobiologiya elminin ən böyük nailiyyətlərindən hesab olunur. Bunlar isə, ionlaşdırıcı şüalanmanın həm kənd təsərrüfatı heyvanlarının və müxtəlif bitkilərin zərərverici və parazitlərdən zərərsizləşdirilməsi, həm də bu şüalanma növünün seleksiya və mədəni bitkilərin məhsuldarlığının artırılması kimi praktiki işlərdə istifadəsinə şərait yaratmış olur. Bundan əlavə, radiohəssaslığa dair müəyyən qanunauyğunluqların aşkar edilməsi və bu qanunauyğunluqların mexanizmlərinin aydınlaşdırılması müxtəlif orqanizmlərin radiasiyanın zərərli təsirindən mühafizə tədbirlərinin işlənilməsinə kömək edir.

**AMEA - nın akademiki, Əməkdar elm xadimi,
kimya elmləri doktoru, professor A.A.Qəribov.**

RADIASIYA BIOLOGİYASI VƏ ONUN TARİXİ İNKİŞAF MƏRHƏLƏLƏRİ

İonlaşdırıcı şüalanmanın bioloji təsirinə öyrənilməsi çoxlu sayda elmi və sosial məsələlərlə diktə edilmişdir. Belə ki, birincisi, bütün canlılar təbii radiasiya fonunun daimi təsirinə məruz qalırlar. İkincisi, insanın texnogen fəaliyyəti, nüvə partlayışları, AES -lərdə və atom sənayesi müəssisələrində vaxtaşırı baş verən qəzalar planetimizin bir çox regionlarında təbii fonu əhəmiyyətli dərəcədə artırmışdır və bu regionlarda ionlaşdırıcı şüalanmanın mümkün ekstremal təsirləri (əsasən də ətraf mühitin digər çirkləndiriciləri ilə birlikdə) dözülməz şərait yaratmışdır. Üçüncüsü, ionlaşdırıcı şüalanmanın çoxlu sayda xəstəliklər üçün diaqnostik və terapeutik vasitə olduğu yaxşı məlumdur. Ona görə də radiasiya terapiyasının tətbiqi və yeni üsulların işlənilməsi üçün şüalanmanın maddə ilə, hüceyrə, toxuma, ayrı - ayrı orqan və bütöv orqanizmlə qarşılıqlı təsir mexanizmlərinin öyrənilməsi sahəsində dərin biliklərin əldə edilməsi çox vacibdir. Bu məsələlərin həlli üçün canlı sistemdə şüalanma enerjisinin udulmasının hər bir mərhələsində baş verən proseslərin hərtərəfli analizi aparılmalı, hər mərhələdə molekulyar dəyişmələr öyrənilməli, şüalanma dozasından asılı olaraq baş verən dəyişmələrin tam ardıcılığını özündə əks etdirən vahid mexanizm müəyyənləşdirilməlidir.

Adı çəkilən problemlərin həll edilməsi zərurəti yeni bir elmin, müasir biologiya elminin çox vacib sahələrindən biri olan "**Radiasiya biologiyası**" -nın yaranmasına səbəb oldu.

Radiasiya biologiyası – ionlaşdırıcı şüalanmanın canlı orqanizmlərə təsirini öyrənən elm sahəsidir.

Radiasiya biologiyası fiziklərin, kimyaçıların, riyaziyyatçıların, həkimlərin, biofiziklərin, molekulyar bioloqların, klassik biologiyanın müxtəlif istiqamətləri ilə məşğul olan alimlərin səylərini birləşdirən kompleks elm sahəsidir. Bu səbəbdən də hazırkı dövrdə Radiasiya biologiyasının Radiasiya ekologiyası və genetika, Radiasiya biokimyəsi və sitologiya, Radiasiya təbabəti və gigiyena kimi istiqamətləri inkişaf edir.

Qeyd edək ki, bu sahədə işləmək qərarına gəlmiş gənc mütəxəssisi çətin bir yol gözləyir. O, biologiya və fizikanı dərinləndirən bilməli, bu elmlərin müasir sahələrindən xəbərdar olmalıdır. Həqiqətən də, DNT, hüceyrə, zülal kimi makrosistemləri, öyrənilən bioloji obyektin quruluş və fiziologiyasını bilmədən, həmçinin də, bioloji obyektə şüalanma enerjisinin udulmasının xüsusiyyətlərini nəzərə almadan radiasiyanın bioloji təsir qanunauyğunluqlarını dərk etmək olmaz.

XX əsrin elmi hesab olunan Radiasiya biologiyası bu gün yüksək sürətlə inkişaf edən elm sahəsidir. Xirosima və Naqasaki faciəsi, nüvə silahlarının yaradılması və

sınağı, dinc məqsədli atom energetikasının geniş vüsət alması, kosmonavtikanın inkişafı, müxtəlif AES -lərdə (əsasən də Çernobil AES -də) baş verən qəzalar bu elmin inkişafı üçün güclü stimül rolunu oynamışdır.

Radiasiya biologiyası radiasiyadan mühafizə vasitələrinin axtarılıb tapılması, radiasiya təhlükəsizliyi normalarının elmi əsaslarının işlənilib hazırlanması, şüa zədələnmələrinin müalicəsi və profilaktikası texnologiyasının yaradılması, kiçik dozalı radiasiyanın bioloji təsir mexanizminin açılması, kiçik dozalı şüalanma effektlərinin proqnozlaşdırılması kimi praktiki məsələləri həll etməyi öz üzərinə götürmüşdür.

Radiobiologiyanın elm kimi formalaşması. Qeyd edək ki, radiasiya və sağlamlıq problemi ionlaşdırıcı şüalanma və radioaktivlik kəşf olunandan xeyli əvvəl aktual idi. Hələ orta əsrlərdə həkimlər radiasiyanın nə olduğunu bilmədən onun zərərli təsirlərinə bələd idilər. Belə ki, o zamanlar filiz yataqlarında işləyən fəhlələrin müəmmalı xəstəliklərinin səbəbləri həkimlər üçün məlum deyildisə, sonradan həmin yataqlarda uran və radiumun olması, XIX əsrin sonuna yaxın isə həmin xəstəliklərin ağ ciyər xərçəngi olması müəyyən edildi.

Antik dövrlərdə həkimlərə radon vannalarının sağlamlığa yaxşı təsir göstərə bilməsi faktı da məlum idi. Hal-hazırda bu üsuldən çoxlu sayda müalicə və sağlamlıq müəssisələrində geniş istifadə edilməsinə baxmayaraq, həkimlərdə onun faydası və təsir mexanizmi haqqında hələ ki, vahid fikir formalaşmayıb. Radiasiyanın təsiri ilə canlı orqanizmlərdə baş verən patoloji dəyişmələr, həmçinin də radiasiyanın təbabət üçün potensial əhəmiyyəti rentgen şüalanması və radioaktivlik kəşf olunan andan problem olaraq ortaya atıldı və uzun illər (bəlkə də həmişəlik) radiasiyanın insanlara fayda və zərər verə bilməsi dilemmasını yaratdı.

Radiasiya biologiyası elminin yaranma tarixi **X (rentgen) - şüaların, radioaktivliyin** kəşfi və onların canlı orqanizmə təsirinə dair ilk fikirlərin tarixi ilə müəyyən olunur. Məlum olduğu kimi, 1895 -ci ilin dekabrında Almaniyada Vyürsburq Universitetinin rektoru, Fizika fakültəsinin Fizika kafedrasının müdiri, professor Vilhelm Konrad Rentgen Fiziklər-Həkimlər Cəmiyyətinin üzvlərinə naməlum X - *şüalarının* kəşfi haqqında 17 səhifəlik əlyazmasını və öz əlinin sümüklərinin rentgen şəklini təqdim etdi. Qeyd edək ki, katod şüalanmasının yaratdığı və yüksək nüfuzetmə qabiliyyətinə malik bu şüalar sonradan Rentgenin şərəfinə rentgen şüalanması adlandırıldı. 1896 -cı ilin yanvarında isə Rentgenin "Şüaların yeni növü" adlanan kitabı fransız, ingilis, rus və italyan dillərində çap olundu və bununla da həmin kəşf bütün dünya ictimaiyyətinin mülkiyyətinə çevrildi.

Rentgen şüaların kəşfi fizikada, həmçinin də biologiya və tibb elmləri sahəsində yeni tədqiqatlar üçün stimül rolunu oynadı. 1896 -cı ilin martında "Paris Təbiət Tarixi" muzeyinin fizika professoru Anri Bekkerel uran duzlarının heç bir xarici təsir olmadan şüalanmasını kəşf etdi. Bu şüalar rentgen şüalarından da yüksək nüfuzetmə qabiliyyətlinə malik idi. İki ildən sonra isə Mariya və Pyer Kürilər uran filizindən, əvvəllər məlum olmayan və uran kimi şüalanma yaradan, 2 yeni element ayıra bildilər və onları radium (şüasaçan) və polonium (Mariya Küri- Skladovskayanın vətəni Polşanın şərəfinə) adlandırdılar. Bu üç elementə və sonradan kəşf olunan bu

təbiətli elementlərə xas olan xüsusiyyət "**radioaktivlik**" (daha dəqiq desək, "**təbii radioaktivlik**") adlandırıldı.

Sonradan, 1934 - cü ildə İren və Frederik Jolio - Kürilər $Al - 27$ elementinin α -zərrəciklər və neytronlarla bombardmanı zamanı təbiətdə müşahidə olunmayan yeni bir radionuklid – fosfor - 30 elementini qeydə ala bildilər və bununla da **süni radioaktivlik** adlanan yeni bir hadisəni kəşf etmiş oldular.

Fizikanın bu kəşfləri çox tezliklə öz əksini bioloji tədqiqatlarda tapdı. Rentgen şüaları kəşf olunan kimi Peterburq fizioloqu İvan Romanoviç Tarxanov (daha dəqiq desək, Tarxanişvili) bu şüalarla qurbağa və həşəratları şüalandıraraq, belə nəticəyə gəldi ki, X - şüalarla nəinki şəkil çəkmək olar, həmçinin də canlıların həyat fəaliyyətinə təsir etmək olar (Tarxanov İ.P.,1896).

Radiasiya biologiyası elminin digər pioneri Yefim Semyonoviç London olmuşdur ki, o da, 1896 -cı ildən başlayaraq, çoxillik rentgen radioloji və eksperimental radiobioloji tədqiqatlar aparmışdır.

Radiasiyanın dəriyə patoloji təsirinə dair ilk rəsmi məlumatı 1901 - ci ildə P. Kuri və A. Bekkerel çap etdirmişdir. Məlumatda deyilirdi ki, radiumla işləmə zamanı təhlükəsizlik tədbirlərinə riayət etmədiklərindən onların dərilərində yaralar əmələ gəlmişdir.

O vaxtlar Radiasiya biologiyasının əsas və çox vacib məsələlərindən biri radiasiya dozasının miqdarının dəqiq müəyyənləşdirilməsi idi. Rentgen şüalanmasının bioloji dozasının, heç olmasa şərti vahidlərini, empirik (təcrübi) yolla müəyyənləşdirmək məcburiyyətində qalan rentgenoloqlar, ilk dəfə olaraq, şüalanmanın dozalarla tətbiqinin vacibliyini ortaya atdılar. Bu cür ilk doza ölçülməsinin vahidi müəyyən edildi ki, o da, şüalanmadan bir neçə gün və bir neçə həftə sonra qeydə alındı. Bu vahid "**dəri-eritem dozası**" (*Haut Erythem Dosis* - almanca) adlandırıldı.

Məlum olduğu kimi, əsas məqsədi şüalanan (ekspozisiya olunan) və udulan şüalanma enerjisini, həmçinin də radioizotopların aktivliyini müəyyənləşdirmək olan dozimetriya fizikanın bir bölməsi kimi çox sonralar yaranmışdır. Elmi əsaslandırılmış dozimetrlərin olmaması, şüalanma dozasının miqdarını müəyyənləşdirməyin qeyri-mümkün olması, bu sahədə məlumatların az olması, həmçinin də bu şüalanmaya etinasızlıq intensiv şüalanmanın təsiri ilə çoxlu sayda rentgenoloqların ölümünə səbəb olmuşdur.

Elementar dozimetrik biliklərin vacibliyini dərk edən E. S. London və həkim - cərrah S. V. Qoldberq radiumun özlərinə təsirinə dair Peterburqun Eksperimental Tibb İnstitutunda təcrübələr aparmışdır (Кудряшов Ю.Б., 2004). S.V. Qoldberq qutudakı 75 mq radium bromidi bintlə çiyinə bərkitmiş və 3 saat onu orada saxlamışdır. Preparatın kənarlaşdırılmasından sonra onun yerində nəzərə çarpacaq dəyişikliyin müşahidə olunmamasına baxmayaraq, 4 gün keçdikdən sonra həmin yerdə qırmızı ləkə yaranmışdır ki, onun da ölçüsü sonrakı günlərdə böyüyərək daha intensiv rəng almışdır. Əlavə 2 gün keçdikdən sonra nekrotik proses başlamış və infiltrasiya zonası daha da böyümüşdür. 14 -cü günə yaxın isə həmin zona irinli yarıya

çevrilmişdir. Daha sonra isə (14-16 -cı günlər) radium preparatının qoyulmadığı digər yerlərdə də (çənədə, o biri çiyin və qolda, bud nahiyəsində) yeni zədələnmə yerləri əmələ gəlmişdir.

Öz dərisinin müxtəlif yerlərini şüalandıran London isə müəyyən etmişdir ki, dəri radiogen dermatitin **gizli (latent)** periodu və onun təzahür dərəcəsi preparatın aktivliyi və təsir müddəti ilə mütənasib olur.

1901 - ci il və ondan sonrakı illər dərinin şüa ilə zədələnməsinə (dermatitlər, eritemlər, şüa yanmaları və yaraları, tük tökülmələri) dair çoxlu sayda məlumatlar toplandı və 1902 - ci ildə dərinin ilk şüa xərcəngi qeydə alındı. Müəyyən edildi ki, yüksək nüfuzetmə qabiliyyətli radioaktiv şüalar təkəcə dəriyə təsir etmir, onlar həmçinin daxili orqan və toxumaların zədələnməsinə və canlı orqanizmlərin ölümünə səbəb olur.

Daha sonra müxtəlif orqan və toxumalarda fermentlərin aktivliyinin pozulması, qanda toksiki maddələrin (leykotoksinlərin) əmələ gəlməsi kimi hallar aşkar edildi. Beləliklə də, yeni şüalanma növünün yüksək bioloji fəallığına dair toplanmış məlumatlar radiobioloji tədqiqatlarda güclü "partlayışlar" üçün stimül rolunu oynadı və radiobiologiyanın "**ilkin**" (**təsviri periodu**) başlandı. "Birinci mərhələ" adlanan bu mərhələyə, əsasən, təsviri xarakterli işlər aid edilir.

İlkin müşahidələr fundamental əhəmiyyət kəsb etmələrinə baxmayaraq, keyfiyyət xarakteri daşıyırdılar və bu mərhələdə ionlaşdırıcı şüalanmanın bioloji obyektlərə təsir mexanizmini aydınlaşdırma bilən hansısa bir nəzəriyyə mövcud deyildi.

Radiasiya biologiyasının inkişafının "**ikinci mərhələsi**" onun kəmiyyət prinsiplərinin, ilk növbədə, bioloji effektin şüalanma dozasından asılılığının müəyyən edilməsi mərhələsidir. Letal şüalanmaya məruz qalmış ayrı - ayrı bioloji obyekt və sistemlərin bu təsirin davamlılığının müxtəlifliyinə və hüceyrə bölünməsi proseslərinin yüksək radiohəssaslığına dair toplanmış nəticələr bu mərhələnin əsas nəticələri hesab olunur. 1906- cı ildə fransız radiobioloqları İ. Berqonye və Lo Tribondo hüceyrələrin radiohəssaslığına dair fundamental qanun müəyyən etdilər. Bu qanuna əsasən "ionlaşdırıcı şüalanmanın hüceyrələrə zədələyici təsiri onların daha intensiv bölünməsi halında güclü olur. Bu təsir, həm də hüceyrələrin morfoloqiya və funksiyasının daha az dəqiqliklə özünü büruzə verdiyi halda, yəni onlar daha az diferensasiya olunduqda, güclü olur" (Кудряшов Ю.Б., 2004).

Faktlar toplandıqca, aydın oldu ki, ionlaşdırıcı şüalanma radiasiya mənbəyinin intensivliyindən və şüalanma müddətindən asılı olaraq istənilən bioloji obyektə və bioloji sistemə zədələməyə və öldürməyə qadirdir.

M. İ. Nemenov və onun əməkdaşları 1910 -cu ildən başlayaraq, şüa zədələnməsi zamanı maddələr mübadiləsinin pozulmasına, şüalanmanın immun sistemə, embriogeneza, cinsi funksiyalara mənfi təsirinə (dölsüzlük) dair məlumatlar çap etdirməyə başladılar. Bu məlumatların içərisində şüa konserogenezinə dair məlumatlar üstünlük təşkil edirdi (Кудряшов Ю.Б., 2004).

1925 -ci ildə şüa zədələnməsinin inkişafında biokimyəvi proseslərin mühüm rola malik olması əyani surətdə öz təsdiqini tapdı. Belə ki, Ansel və Vintenberqer

toyuq embrionları üzərində təcrübi yolla müəyyən etdilər ki, soyuducuda yerləşdirilmiş şüalanmış embrionda radiasiya pozulmaları müşahidə olunmadığı halda, eyni doza ilə şüalanmış inkubatorada yerləşdirilmiş embrionda radiasiya əlamətləri açıq-aydın hiss olunur. Aydın olur ki, mübadilə proseslərinin intensivliyi şüa zədələnməsi əlamətlərinin formalaşmasında əsas rol oynayır. Bu müşahidələrin əsasında müəlliflər şüa zədələnmələri yaranmasına dair aşağıda sadalanan üç əsas fikir söyləyə bildilər (Кудряшов Ю.Б., 2004) :

- ilkin radiasiya zədələnməsinin olması;
- bu zədələnmənin güclənməsinə təkan verən amillərin olması;
- bərpaedici amillərin təsiri.

Beləliklə, şüa zədələnməsi dərəcəsinin təkcə ilkin zədələnmə intensivliyindən yox, həm də orqanizmin fizioloji vəziyyətindən və onda baş verən metabolik proseslərin xarakterindən asılılığına dair fikir formalaşdı.

İonlaşdırıcı şüalanmanın maddənin struktur elementlərinə təsirinin öyrənilməsi və kəmiyyət dozimetriyasının yaradılması tədqiqatçılara radiobioloji effektləri şüalanma dozası ilə əlaqələndirən kəmiyyət prinsiplərini müəyyənləşdirməyə imkan verdi. Bununla da, Radiasiya biologiyasının **“İonlaşdırıcı şüalanmanın bioloji obyekt və sistemlərə təsir mexanizmlərinin öyrənilməsi periodu”** başladı və **Kəmiyyət radiobiologiyasının** yaradılmasının başlanğıcı qoyuldu (Radiobiologiyanın inkişafının **“II mərhələsi”** -ni təşkil edən bu mərhələ XX əsrin 20 -ci illərinə təsadüf edir).

Bu mərhələdə böhran vəziyyətinə düşmüş bioloji molekul və hüceyrə strukturlarının, həmçinin də şüalanmış orqanizmdə şüa zədələnməsinin inkişafına cavabdeh olan toxuma və orqanların intensiv axtarışı başlandı. Eyni zamanda **“Bioloji effektlərin şüalanma dozasının miqdarından asılılığı qanunauyğunluqlarının müəyyənləşdirilməsi”** üzrə tədqiqatlar böyük vüsət aldı.

Qeyd edək ki, Radiasiya biologiyasının inkişafının II mərhələsi ionlaşdırıcı şüalanmanın bioloji təsirinin vacib xüsusiyyətlərindən birinin - **“radiobioloji paradoksun”** mövcudluğunun aşkar edilməsi ilə səciyyələnir. Başqa sözlə desək, müəyyən edildi ki, ionlaşdırıcı şüalanmanın istilik ekvivalenti ilə ifadə olunan enerjisi onun yaratdığı bioloji effektlərə uyğun enerji ilə müqayisədə kifayət qədər az olur.

Bu mərhələ həmçinin Radiasiya biologiyasında çox məşhur bir hadisənin kəşf olunması mərhələsidir. Söhbət 1925-1927- ci illərdə Sovet alimləri Q. A. Nadson və Q. S. Filippovun təcrübi yolla maya hüceyrələrində, ABŞ alimi Q. Mellerin isə drozofildə aşkar etdikləri **“radiasiya mutagenizi”** effektindən gedir (Кудряшов Ю.Б., 2004). Adı çəkilən effektin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, rentgen şüalanmasının **“nəsildəyiyci maddəyə”** təsiri təkcə onun zədələnməsinə deyil, həm də onda sonrakı nəsillərə ötürülən dayanıqlı dönməz dəyişikliklərin yaranmasına səbəb olur. Bununla da, şüalanmanın mutasiya yarada bilməsi tam sübut edildi və radiobioloqlar, ilk dəfə olaraq, mutasiya prosesinə təsir etməklə, nəsil dəyişmələrini təcrübi yolla həyata keçirmək imkanı əldə etdilər.

Şüalanmanın mutagen təsirinin kəşf olunması böyük bir radiobioloqlar ordusunu radiasiyanın təsirinə diskret bioloji strukturların (genlərin, xromosomların)

vahid reaksiyasını öyrənməyə vadar etdi. Bu illərdə şüalanmanın dozimetriya metodları əhəmiyyətli dərəcədə təkmilləşdi və ionlaşdırma dozası üçün ölçü vahidi qəbul olundu. Ekspozisiya dozasının BS -də “rentgen” adlanan vahidi həm qamma, həm də rentgen şüalanmasını kəmiyyətə ölçməyə imkan verdi. Həmin vaxtdan da radiasiyanın bioloji təsirinin ölçüsü təkcə obyektə verilən enerjinin miqdarı ilə deyil, həm də onun keyfiyyətini və udulduğu mühitdə paylanmasını nəzərə alan effektiv, ekvivalent, kollektiv dozalar kimi parametrlərlə müəyyən edilməyə başlandı. Bununla da müşahidə olunan bioloji effektin öyrənilən sistemin udduğu radiasiya dozasından asılılığını müəyyənləşdirməyə əsaslanan şüalanmanın bioloji təsirinin miqdarı təhlili üçün imkanlar yarandı.

Bircins obyektlərin (eyni xəttin hüceyrələrinin, eyni növ molekulların və s.) şüalandırılması zamanı müşahidə olundu ki, radiasiya kiçik dozalarda bir qrup obyektlərə zədələyici təsir göstərdiyi halda, digərlərinin bu təsir prosesində ilkin xüsusiyyətləri dəyişməz qalır. Çox yüksək dozalarda isə, az sayda da olsa, bəzi obyektlər zədələnməyə məruz qalmır. Bu hallarda “doza - effekt” əyrisi eksponensial xarakter daşıyır və onları sıfır nöqtəsinə qədər dəqiqliklə ekstrapolyasiya etmək olur.

Müşahidə olunmuş bu effekti təbii variabelliklə izah etmək olmaz. Belə ki, söhbət genetik cəhətdən eyni olan birhüceyrəliyərdən və viruslardan, ya da eyni tip molekullardan gedir. Bunun izahı üçün fundamental fiziki konsepsiyaların tətbiq olunmasını, hər şeydən əvvəl isə enerji udulmasının ehtimallı xarakter daşmasını, ionlaşdırıcı şüaların diskret xarakterli olmasını, bioloji strukturların fiziki mikroheterogen quruluşa malik olmasını və s. nəzərə almaq lazım idi.

Radiobiologiyanın bu mərhələsi “**Kəmiyyət radiobiologiyası**” - nın və “**Radiasiya biofizikası**” - nın yaranmasına zəmin yaratdı. Aydın oldu ki, radiobioloji fenomenlərin izahı və ionlaşdırıcı şüalanmanın ümumi bioloji təsir nəzəriyyəsinin yaradılması üçün kvant mexanikası və nüvə fizikasının nəzəri əsaslarından istifadə olunmalıdır.

İlk dəfə olaraq, 1922 -ci ildə “**nöqtəvi qızma**” nəzəriyyəsi adı altında belə bir addımı Dessauer atdı. Məlum olduğu kimi, ionlaşdırıcı şüalanmanın kiçik həcmi sıxlığa malik olmasına baxmayaraq, ayrı - ayrı fotonlar böyük enerji ehtiyatına malikdirlər. Buna əsaslanan Dessauer fərz etdi ki, sistemin ümumilikdə nisbətən az ümumi enerji qəbul etməsi zamanı onun bəzi diskret mikrohəcmli çox böyük porsiyalarda enerji uda bilir ki, nəticədə mikrolokal qızma bioloji zədələnməyə gətirib çıxaran geniş struktur dəyişmələri yaradır. Qeyd edək ki, hətta öldürücü dozalarda şüalanma dozası insan bədəninin temperaturunu $\sim 0.001^{\circ}\text{C}$ artırır.

Dediklərimizdən aydın olur ki, Dessauer ayrı-ayrı obyektlərdə radiasiya effektlərinin ehtimallı xarakter daşmasını qəbul etməklə, bu effektlərin yaranma səbəbini müxtəlif “**nöqtə istiliyinin**” statistik paylanması ilə izah etməyə müyəssər oldu. Beləliklə də, ilk dəfə olaraq, kəmiyyət radiobiologiyasında “**fiziki yerinədüşmə**” prinsipi adlanan prinsip ortaya atıldı. Bu prinsip sonradan C. Krouterin, D. Linin, K.Q. Simmerin, V. İ. Koroqodinanın işlərində daha da inkişaf etdirildi (Кудряшов Ю.Б., 2004).

“*Yerinədüşmə*” prinsipinə əsasən son bioloji reaksiyaların baş verməsinin ilkin fiziki start mexanizmi ionlaşdırıcı şüalanmanın maddə ilə təsadüfi qarşılıqlı təsiri ilə müəyyən olunur. Başqa sözlə desək, bu prinsipə əsasən hər molekula və ya hüceyrəyə eyni qədər enerji payı düşür.

“*Yerinədüşmə*” prinsipi “*hədəf*” nəzəriyyəsi adlanan digər bir nəzəriyyə ilə sıx bağlıdır. Qeyd edək ki, “*hədəf*” nəzəriyyəsinin əsasında canlı sistemlərin quruluşunun heterogenliyi prinsipi durur. Belə ki, sistemin ayrı-ayrı struktur elementlərinin şüalanma ilə zədələnməsi həmin sistem üçün eyni əhəmiyyət kəsb etmir. Məsələn, nadir hüceyrə strukturunun dönməz zədələnməsi onun məhvinə səbəb ola bilirsə, digər çox sayda strukturların bu cür zədələnməsi hüceyrə üçün böyük əhəmiyyət kəsb etməyə də bilər. Buna misal olaraq, hüceyrə nüvəsini, DNT molekulunu və hüceyrənin özünün bölünmə prosesini göstərmək olar ki, bunların da radiasiyanın təsirinə yüksək həssaslıq göstərməsi çoxlu sayda tədqiqat işlərinin nəticələri ilə sübut olunmuşdur.

Genetik quruluşun şüa ilə zədələnməsinin bədxassəli işlər əmələ gətirməklə və eybəcər formalar yaratmaqla şüalanmadan bilavasitə sonra, ya da şüalanmadan xeyli müddət keçdikdən sonra (sonrakı nəsilərdə) özünü göstərməsi də kifayət qədər tutarlı dəlillərlə sübut olundu.

Qeyd edək ki, bioloji obyektin ionlaşdırıcı şüalanmaya məruz qalması zamanı onun ayrı-ayrı molekullarının, hüceyrələrinin, toxumalarının, orqanlarının şüa udmasında əhəmiyyətli fərqlər olmur. Hətta kiçik dozalarda şüalanma zamanı belə molekullarda milyonlarla ionlaşma aktları baş verir ki, bu da, hüceyrənin quruluş və funksiyasının müxtəlif formada pozulmasına səbəb olur. Ancaq bu pozulmaların yalnız bəziləri hüceyrənin bölünmə qabiliyyətinin itməsi və onun məhvi ilə nəticələnmə bilər. Genetik informasiya daşıyıcısı olan nadir DNT makromolekulu bu hallarda “*kritik struktur*”, yəni “*hədəf*” rolunu oynayır.

Sonrakı tədqiqatların nəticələrindən aydın oldu ki, “*hədəf*” nəzəriyyəsinin bu formada qəbulu onun tətbiqinin xeyli məhdudlaşmasına səbəb olur. Belə ki, o, effekt - doza asılılığını bioloji sistemlərin yalnız elementar və ya sadə reaksiyaları üçün kəmiyyətçə interpretasiya etməyə imkan verir. Mürəkkəb sistemin şüalanmaya son cavab reaksiyası isə (məsələn, hüceyrənin ölümü) təkəcə DNT -yə şüa düşməsindən asılı olmur. O, həm də hüceyrənin və bütöv orqanizmin şüalanmaya sistemli cavabından, daha dəqiq desək, bioloji sistemin özünün bir çox xüsusiyyətlərindən (məsələn, zədələnməni kənarlaşdırmaq və ya bərpa etmək qabiliyyətində) asılı olur.

Məlum olduğu kimi, 1945 -ci ilin avqustunda Yaponiyanın Naqasaki və Xirosima şəhərlərinin sakinləri atom bombalarının təsirinə məruz qaldılar. Digər təsirlərlə yanaşı, həm də yüksək şüalanma ilə müşayiət olunan bu partlayışların dəhşətli nəticələri XX əsrin ortalarında artıq özünü göstərməyə başladı. Yaranmış vəziyyəti o zaman A. M. Kuzin belə xarakterizə edirdi: “*Ön planda ali orqanizmlərin total şüalanmasının öyrənilməsi, onların ionlaşdırıcı şüalanmanın zərərli təsirindən mühafizəsi, şüa xəstəliyinin müalicəsi və profilaktikasının nəzəri əsaslarının yaradılması problemləri dururdu. Ionlaşdırıcı şüalanmanın təsirinin bioloji təzahürləri ilə*

şüalanmanın dozası, gücü, növü və elementar zərrəciklərin enerjisi arasında dəqiq miqdarı qanunauyğunluğun müəyyənləşdirilməsinə böyük ehtiyac yarandı”.

Radiasiya biologiyası A. M. Kuzinin düzgün müəyyənləşdirdiyi istiqamətlər üzrə aparılan tədqiqatlarla özünün inkişafının növbəti **III mərhələsinə** qədəm qoydu. Sadalanan problemlərin içərisində radiobioloqların diqqətini daha çox şüalanmış orqanizmdə baş verən ilkin fiziki-kimyəvi proseslərin tədqiqi və nüvə silahlarının sınaqlarının intensivləşməsi nəticəsində radiasiya fonunun qlobal dəyişməsinin yaratdığı radioekoloji problemlərin öyrənilməsi cəlb etdi.

Nüvə silahlarının güclü arsenalinin yaradılması və nəticədə külli miqdarda təbii radionuklidlərin atmosfərə atılaraq, atmosfer köçürmələri vasitəsilə böyük ərazilərə daşınmasının yaratdığı qlobal çöküntülər bu mərhələni səciyyələndirən əsas amillər oldu. Problemin ciddiliyi Birləşmiş Millətlər Təşkilatının nəzdində Atom Radiasiyasının İnsana Təsirinin Öyrənilməsi üzrə Elmi Komitənin (ARTEK) yaradılması zərurətini yaratdı.

ARTEK öz fəaliyyəti dövründə atom radiasiyasının insana zədələyici təsirinə dair külli miqdarda faktiki material topladı, onları sistemləşdirdi və asan mənimsənilən formaya sala bildi. Hələ 1987 -ci ildə L. Saqan qeyd edirdi ki, ARTEK - in topladığı materialın əsasında radiobiologiyada *“atom radiasiyası canlı orqanizmlər üçün yalnız və yalnız təhlükəlidir”* paradigması formalaşmışdı. Bu mərhələdə radiobiologiya və radiasiya biofizikasının inkişafı güclü impuls aldı və şüalanmanın təsirinin molekulyar mexanizmlərinin öyrənilməsi radiobioloqların əsas fəaliyyət istiqaməti oldu. Yada salaq ki, bu dövr, həmçinin də, biofizikada və molekulyar biologiyada DNT molekulunun quruluşuna və onun əsas nəsilədaşıyıcı roluna dair təkzibolunmaz sübutların alınması dövrü idi.

XX əsrin 40 -cı illərində şüalanma enerjisinin ilkin udulması və son bioloji effektin yaranması müddəti arasında baş verən fiziki - kimyəvi proseslərin təhlili göstərdi ki, suyun radiolizi nəticəsində kifayət qədər dərinliyə diffuziya edərək bioloji strukturları dağıda bilən sərbəst radikallar yaranır. Beləliklə də, radiasiya biofizikasında şüalanmanın suyun radiolizinin aktiv məhsullarının vasitəsi ilə həyata keçirdiyi **“birbaşa olmayan təsiri”** (**“dolaylı təsiri”**) fikri formalaşdı. Bununla da suyun radiolizinin ilkin məhsullarının fiziki - kimyəvi xüsusiyyətlərinin və onların hüceyrənin makromolekulları ilə qarşılıqlı təsirinin öyrənilməsi mərhələsi başlandı.

Bu ərafədə həmçinin ionlaşdırıcı şüalanmanın təsirindən kimyəvi mühafizə vasitələrinin (radioprotektorların) alınmasına və onların xassələrinin tədqiqinə başlandı. Məsələn, 1942 -ci ildə V. Deyl məhlula bəzi radikaltutucu maddələr daxil etməklə, radiasiyanın bəzi fermentlərə zədələyici təsirini azalda bildi (Кудряшов Ю.Б., 2004).

İnsan cəmiyyətinin nüvə silahlarından real məhvolma təhlükəsinin olması və biosferin radionuklidlərlə əhəmiyyətli dərəcədə çirklənməsi bu ərafədə canlı orqanizmlərin ionlaşdırıcı şüalanmadan kimyəvi mühafizəsinə dair intensiv tədqiqatların aparılmasını da tələb etdi. 1948 -ci ildə bakteriofaqlarla aparılan təcrübədə mühafizə effekti qeydə alındı. Bu işlər praktiki əhəmiyyəti çox böyük olan

kəşflərə səbəb oldu. Belə ki, 1949 -cu ildə bəzi maddələrin məməliləri şüa zədələnməsindən mühafizə etmək qabiliyyətinə malik olması sübut edildi. Məsələn, X. Pattanın təcrübələrində letal şüalanmadan 10 dəqiqə əvvəl siçovulların bədənində sistein daxil edilməsi onları qaçılmaz ölümdən xilas etdi.

Z.Bak və A.Erv analogi effekti siçanların bədənində sianid daxil etməklə müşahidə etdi (Бак З.М., 1968).

Bundan sonra dünyanın bir çox laboratoriyalarında radiasiyanın təsirindən mühafizə preparatlarının intensiv axtarışı başladı. Beləliklə də, Radiasiya biofizikasının bioloji obyektlərin radiohəssaslığının dəyişəbilmə mexanizmlərini aydınlaşdırmağa çalışan sərbəst bir sahəsi yarandı.

Bu işlər, praktiki əhəmiyyəti ilə yanaşı, həm də böyük nəzəri əhəmiyyət kəsb edir. Belə ki, bu zaman radiomühafizə preparatlarının tətbiq olunduğu fiziki-kimyəvi proseslər də xırda detalları ilə tədqiq edilir.

Bu istiqamətdə aparılan tədqiqatların nəticələri göstərdi ki, radiomühafizə preparatları canlıların toxumalarında oksigenin miqdarını azaldır. İlk olaraq, hesab olundu ki, bu formada mühafizə sərbəst radikalların inaktivasiyası və sərbəst radikal-oksidləşmə proseslərinin ləngiməsi ilə əlaqədardır. Bu fikrin sadə molekulyar sistemlərin model eksperimentlərində də sübut olunmasına baxmayaraq, mürəkkəb sistemlər üçün bu cür izah kifayət etmədi.

Radiomühafizə preparatlarının daxil edilməsindən sonra canlıların toxumalarında baş verən fizioloji və biokimyəvi dəyişiklikləri təhlil edərək 60-cı illərin ortalarında Z. Bak və P. Aleksander “ **biokimyəvi şok** ” adlanan hipotez urəli sürdü. Bu hipotezə əsasən müxtəlif radioprotektorlar hüceyrəni ionlaşdırıcı şüalanmanın təsirinə qarşı yüksək davamlılıq halına keçirməklə, metabolik prosesləri dəyişdirir (Бак З.М., 1968).

Sonradan orqanizmin radiorezistentliyini dəyişə bilən radioprotektor xassəli preparatların təsiri altında baş verə bilən konkret biokimyəvi dəyişmələrin tədqiqinə həsr olunmuş çoxlu sayda işlər görüldü. Bu işlərin nəticəsində 2 yeni hipotez: “ **radiomühafizə vasitələrinin kompleks biokimyəvi təsiri** ” (Романцев Е.Ф.,1968) və “ **sulfidril hipotezi** ” (Граевский Э.Я., 1969) irəli sürüldü.

70 -ci illərdə E. N. Qonçarenko və Y.B. Kudryaşov (Гончаренко Е.Н., Кудряшев Ю.Б., 1980) müəyyən etdilər ki, müxtəlif radiomühafizə vasitələrinin təsiri canlıların toxumalarında lipidlərin peroksidləşməsi məhsullarının (şüa zədələnməsinin təbii sensibilizatorlarının) miqdarının azalmasına, biogen aminlərin miqdarının isə artmasına səbəb olur. Məlum olduğu kimi, biogen aminlər dedikdə, tiollar və digər antioksidləşdiricilər kimi təbii, şüa əleyhinə maddələr başa düşülür. Müəlliflər bunun əsasında “ **radiorezistentliyin endogen fonu** ” hipotezini irəli sürdülər. Nəticədə hüceyrədə ilkin struktur zədələnmələri yaranan andan nəzərə çarpacaq biokimyəvi və morfoloji dəyişikliklər baş verən ana qədər bütün fiziki-kimyəvi proseslərin tədqiqi ön plana çəkildi. Bu zaman bioloji obyektlərin şüa zədələnməsinin inkişafını sürətləndirən amillərin (oksigenin, temperaturun) modifikasiyaetdirici təsiri, şüalanmış sistemdə enerji və elektrik yükünün miqrasiyası, sərbəst radikalların ionlaşdırıcı şüalanmanın

birbaşa və dolay yolla təsirində rolu, oksiradiotoksinlərin radiobioloji effektin və mühafizə effektinin formalaşması zamanı toplanması və s. öyrənilməyə başlandı.

Şüa zədələnməsinin ilkin molekulyar mexanizminin açılmasında B. N. Tarusov və onun məktəbinin müstəsna rolu olmuşdur. Onların sürdüüyü nəzəriyyəyə əsasən, az sayda ilkin zədələnmələr çoxlu sayda subhüceyrə strukturlarının cəlb olunduğu zəncirvari oksidləşmə proseslərini yaradır (*Кудряшов Ю.Б., 2004*). "**Fiziki - kimyəvi mexanizmə dair**" bu nəzəriyyə və "**İlkin radiasiya zədələnməsinin güclənməsi**" prinsipi çoxlu sayda radiobioloji fenomenləri (zaman keçdikcə şüa zədələnməsinin güclənməsi, bu prosesə temperatur və atmosferin qaz tərkibinin təsiri və s.) izah etməyə imkan verdi. Keçən əsrin 50 -ci illərinin ortalarında B. N. Tarusovun laboratoriyasında müəyyən edildi ki, hüceyrə lipidlərinin tərkibinə daxil olan doymamış yağ turşuları radiasiyanın təsirinə həddən artıq həssasdırlar və bu təsirə çox zəif müqavimət göstərdiklərindən, lipidlərin peroksid oksidləşmə məhsulları müxtəlif bioloji obyekt və sistemlərdə şüalanmanın təsirini xeyli gücləndirir.

Bu və bu istiqamətdə aparılmış digər tədqiqat işləri göstərdi ki, şüalanma zamanı peroksid oksidləşmə prosesinə biomembran lipidləri aktiv cəlb olunur ki, bu da, hüceyrənin güclü zədələnməsinə və məhvəinə səbəb olur.

B.N.Tarusovun fikrincə, norma daxilində toxuma lipidlərində oksidləşmə prosesləri, çox aşağı səviyyədə olmaqla, stasionar rejim halında olur. Şüalanmadan sonra isə bu proseslər qeyri - stasionar rejim halına keçə bilər ki, nəticədə oksidləşmə dəyişmələrində hüceyrə daxili membran strukturlarının müxtəlif komponentləri də iştirak edir.

Bu təsəvvürlərin inkişafında Nobel mükafatı laureatı N.N.Semyonovun və onun məktəbinin nümayəndələrinin klassik tədqiqatları müstəsna rol oynadı. İonlaşdırıcı şüalanmanın törətdiyi lipid oksidləşməsinə və hüceyrənin bioloji membranlarında antioksidləşmə - mühafizə - bərpaetmə proseslərinə həsr olunmuş işlərlə daha sonra əsaslı şəkildə N.M.Emanuel və E.B.Burlakova (*Бурлакова Е.Б., Эмануэль Н.М., 1971*) məşğul oldular.

Fermentlərdən və kiçik molekullu antioksidantlardan təşkil olunmuş, orqanizmin və hüceyrənin radiorezistentliyinin formalaşmasında mühüm rol oynayan biokimyəvi antioksidləşmə mühafizə sisteminin kəşf olunması radiobiologiya elminin ümumi biologiyaya verdiyi mühüm töhvələrdən biridir. Əlavə olaraq müəyyən edildi ki, təkcə şüalanma nəticəsində deyil, həm də metaboloji olaraq yaranan oksiradikalalar (oksigenin aktiv formaları) hüceyrənin quruluşunu dağıtmaqla, orqanizmin patoloji vəziyyətini yaradır. Bu cür zədələnmələrdən təklif olunan mühafizə bir çox xəstəliklər üçün əsas müalicə üsulu olur. Bununla da kiçik molekullu oksiradikalaların və biogen oksidləşmə məhsullarının bioloji rolunun aydınlaşdırılması üzrə tədqiqatlar dövrü başladı. Qeyd edək ki, biogen oksidləşmə məhsulları dedikdə tərkibində oksigen olan aktiv birləşmələr, yəni oksigenin aktiv formaları, azot monooksidi, lipidlərin sərbəst radikal peroksid oksidləşməsi məhsulları olan birləşmələr başa düşülür. Bu dövrün xarakterik xüsusiyyəti şüalanmış hüceyrədən apoptoz və mutasiyanı aktivləşdirən,

sito - və geno - toksiki təsirə malik olan oksiaduktların yaranmasının müəyyən edilməsi oldu.

Bu dövrün digər xarakterik, ondan da az əhəmiyyət kəsb etməyən xüsusiyyəti DNT -nin radiasiya zədələnməsinin bərpa olunması mexanizminin açılması oldu. Bu kəşf radiobiologiyanın canlılar elminə verdiyi misli görünməmiş bir töhvə oldu. Müəyyən edildi ki, hüceyrələrdə genomun struktur bütövlüyünü saxlayan çox mürrəkkəb fermentlər sistemi kompleksi fəaliyyət göstərir. Bunlardan bir qrupu DNT reparasiyasının müxtəlif fermentləridir ki, onlar da irsiyyət molekulunun defektlərini aşkara çıxarır, zədələnmələri spesifik üsulla “*təmir*” etməklə, DNT - nin struktur və funksiyalarını bərpa edir, normal hüceyrə bölünməsinə təmin edir.

Bu dövrdə DNT zədələnmələrinin bərpa olunmasının bir neçə mexanizmi müəyyən edildi. Bunlar fotoreaktivasiya, nukleotidlərin eksizyon reparasiyası, rekombinasyon reparasiya və DNT sonluqlarının qeyri - komplementar bitişmə yolu ilə reparasiyasıdır. Həmçinin də müəyyən edildi ki, DNT - nin bərpa olunma sisteminin fəaliyyəti hüceyrədaxili metabolizmin vəziyyətindən və hüceyrədə energetik proseslərinin intensivliyindən asılı olur. Bununla da, şüa zədələnməsinin hüceyrənin postradiasion bölünmə şəraitindən, metabolik sistemin vəziyyətindən asılılığı kimi məlum radiobioloji effektlərin molekulyar mexanizmləri açılmış oldu. Müəyyən oldu ki, şüalanma dozasının qiymətindən asılı olaraq, DNT -nin pozulmuş quruluşu bir halda tamamilə bərpa oluna bilər. Digər halda isə bərpa olunma molekulun müəyyən bir hissəsini əhatə edə bilər ki, bu da, zədələnmiş hüceyrənin sonrakı taleyini – onun yaşayıb-yaşaya bilməyəcəyini müəyyən edir.

Bu dövrün tədqiqatlarının nəticəsində Radiasiya biologiyasında ümumi bir prinsip qəbul olundu. Bu prinsipə əsasən “*son radiobioloji effekt bir - birinin əksinə yönəlmiş iki prosesin interferensiyası nəticəsində yaranır*”. Başqa sözlə desək, “*radiasiyanın son təsirini ilkin zədələnmənin realizə olunması və reparasiya sistemi vasitəsi ilə hüceyrədaxili strukturların bərpa olunması prosesləri birgə formalaşdırır*”.

Radiasiya biologiyasının sonrakı inkişafında A.M.Kuzinin irəli sürdüyü və nəzəri əsaslarını işləyib hazırladığı “**Şüa zədələnməsinin struktur - metaboloji nəzəriyyəsi**” mühüm rol oynadı. Bu nəzəriyyəyə əsasən hüceyrə orqanellərinin çoxlu sayda struktur zədələnmələri hüceyrədə metabolizmin pozulmasına gətirib çıxarır. Bunun nəticəsi təkcə şüalanmış hüceyrənin deyil, həm də qonşu (hətta ondan çox uzaqda olan) hüceyrələrin həyat fəaliyyətinin pozulmasına və məhvə səbəb ola bilər. Bu nəzəriyyə radiasiyanın “*məsafədən*” (“*distansion*”) təsirinin olmasını ideyasını gündəmə gətirdi.

DNT -nin radiasiya zədələnməsi mexanizminin, həmçinin də zədələnməni aradan götürən reparasiya sisteminin və bu prosesin limfoid toxumalarında hüceyrələrin şüa zədələnməsi qanunauyğunluqlarının formalaşmasında rolunun tədqiqi ionlaşdırıcı şüalanmanın təsiri ilə hüceyrələrin fazalararası məhvi prosesinin “*proqramlaşdırıldığını*” başa düşməyə imkan verir.

Bu planda 1972 -ci ildə hüceyrələrin **nekroz** məhvindən fərqlənən **apoptoz** məhvi formasının da olması kəşf edildi (Горизонтов П.Д. и др., 1972). Belə bir fikir

irəli sürüldü ki, orqanizmin bölünməz və ya çox zəif bölünən hüceyrələrinin (sinir hüceyrələri, əzələ və parenximatöz toxumaların hüceyrələri) məhvinə səbəb bioloji membran kimi kritik strukturların zədələnməsidir. Bu cür fazalararası məhvəlmə şüalanmaya kifayət qədər davamlı olan hüceyrələrə xas olan xüsusiyyətdir. Şüalanmanın özünün bilavasitə DNT -yə və ya bioloji membrana təsiri dozanın müəyyən qiymətlərində heç də onlar üçün həmişə zədələyici olmur. Bunun səbəbi hüceyrənin özündə şüalanma prosesində oksiradikalların yaratdığı məxsusi əks təsir sisteminin olmasıdır. Başqa sözlə desək, hər bir hüceyrədə, şüalanma zədələnməsindən strukturu reparasiya edən sistemdən başqa, DNT və bioloji membranları zədələnmədən qorumağa qadir olan fərdi mühafizə sistemi də mövcuddur. Bu sistemi endogen fon radiorezistentliyini yaradan və hüceyrənin oksidləşmə - reduksiya homeostazını müəyyən edən bir qrup bioloji aktiv molekullar və fermentlər təşkil edir.

Qeyd edək ki, hüceyrənin **proqramlaşdırılmış məhvi mexanizminin – apoptozun** kəşfi Molekulyar biologiya və Radiasiya biologiyasının ən böyük nailiyyətlərindən biridir. Çox mərhələli biokimyəvi reaksiyalar kaskadı vasitəsilə həyata keçən bu proses, əslində, mutasiya dəyişmələri nəticəsində “*resusları*” tükənmiş, həyat qabiliyyətini itirmiş və orqanizm üçün artıq yad olan hüceyrələrin məhv edilməsi prosesidir.

Son illər apoptoz mexanizminin yalnız hüceyrələrə deyil, həm də hüceyrədən böyük və hüceyrədaxili strukturlara da aid olması müəyyən edilmişdir.

Alınmış nəticələrin əsasında V. P. Skulaçev “**özünüməhvin**” ümumi bioloji qanununu müəyyənləşdirə bilmişdir. Bu qanuna əsasən orqanellalardan tutmuş ali orqanizmlərə qədər istənilən canlı sistem, əgər həyatın təşkili ierarxiyasında yüksək pilləni tutan sistemin həyat fəaliyyəti üçün təhlükəyə çevrilirsə, özünü məhv edir (Кудряшов Ю.Б., 2004). Mitoxondrilərin özünüməhv etməsi **mitontoz**, orqan və toxumaların isə **orqanoptoz** adlanır.

Müəyyən edilmişdir ki, şüalanmanın təsiri ilə hüceyrələrin nekrotik ölümünə və apoptozə gətirən əsas siqnal mexanizmlərindən biri oksigenin aktiv formalarının və lipidlərin peroksid oksidləşməsi məhsullarının həddən çox yaranmasıdır.

Kritik strukturların zədələnməsi və yenidən bərpa olunması mexanizmlərinin tədqiqi ilə məşğul olan tədqiqatçıları həmişə belə bir fikir narahat etmişdir. Görəsən, bu mexanizm təkcə ionlaşdırıcı şüalanma üçün xarakterikdir, yoxsa bu cür sistemli cavab reaksiyası istənilən xarici təsirə reaksiya verən hər bir hüceyrəyə xas olan xüsusiyyətdir? Başqa sözlə desək, görəsən bu ümumi bioloji hadisədirmi?

1960 -cı ildə V.P.Paribok maraqlı bir fikir irəli sürdü. Bu fikrə əsasən, reparativ sistemlərin DNT -nin radiasiya zədələnməsini bərpa etməsi xüsusiyyəti canlı sistemlərin zədələyici təsirlərə qeyri - spesifik reaksiyasının yalnız bir təzahür formasıdır. Başqa sözlə desək, hüceyrələrdə onun strukturunun normal, stasionar dinamik vəziyyətini saxlayan və istənilən zədələyici təsirin yaratdığı dəyişmələrə standart reaksiya verə bilən unikal bir sistem mövcuddur (Кудряшов Ю.Б., 2004).

L.X.Eydus apardığı tədqiqatların nəticələrini təhlil edərək analogi fikrə gəldi. Eydusa görə, zədələnməyə qarşı hüceyrənin qeyri - spesifik reaksiyası tək cəlonlaşdırıcı şüalanma zamanı deyil, istənilən fiziki və kimyəvi təsir zamanı yaranır. Onun ümumiləşdirici hipotezinə əsasən zədələyici amilin təsiri ilə strukturda eyni tipli dəyişmələr baş verir. Bu dəyişmələrə membran daşınmalarının pozulması, kiçik molekullu birləşmələrin konsentrasiya qradiyentinin dəyişməsi və s. aiddir (*Эйдус Л.Х., 2000*).

Sonuncu illərə qədər toplanmış faktiki materialları ümumiləşdirərək belə nəticəyə gəlmək olar: «*radiasiya və ya istənilən “qıcıqlandırıcı” təsir hüceyrədə oksidativ stress yaradır ki, bunun da təzahür forması təsirin müddət və dozasından asılı olur*».

Qeyd edək ki, oksidativ stress bir - birindən asılı olan iki müxtəlif prosesin vəhdətindən ibarətdir. Bunlardan biri prooksidantların toplanması nəticəsində yaranan oksidativ proses, digəri isə hüceyrənin, fermentlər və kiçik molekullu antioksidantlar sistemi kimi ehtiyat mühafizə resurslarını mobilizə etməklə, bu prosesi saxlayan sistemdir.

1986 -cı ildə Çernobil AES - də baş verən məlum qəza, həm bu qəzaya dair, həm də əvvəllər baş vermiş bu cür qəzalara və onların gələcəkdə törədə biləcəyi fəsadlara dair məlumatların üzərindən məxfiliyin götürülməsinə səbəb oldu. Bununla da, radiobiologiyada yeni inkişaf mərhələsi (***IV mərhələ***) başlandı.

Çernobil AES - də baş verən qəzanın nəticələrinin təhlili göstərdi ki, bu qəza, radionuklidlərlə çirklənmiş ərazilərin miqyasına görə misli görünməmiş qəza idi. Belə ki, bu qəzanın izlərinə Filippindən tutmuş Kanadaya və Cənubi Amerikaya qədər ərazilərdə rast gəlmək mümkün oldu. *Milyon küri* -lərlə süni radionuklidlər qısa müddət ərzində biosferə daxil oldu. Bu isə, ləngimədən, yüksək dəqiqliklə Çernobil radionuklidlərinin torpaq-bitki zənciri üzrə miqrasiya xüsusiyyətlərini, biosferin ayrı-ayrı komponentlərində toplanma və paylanma yollarını, biosferə daxilolma formalarını, əsasən də onların kiçik dozalarda canlı orqanizmlərə, insanlara xroniki təsirinin xarakterini öyrənməyi radiobioloqların qarşısında tələb kimi qoydu. Aydın oldu ki, bu fəlakətin törətdiyi problemlərin həlli üçün toplanmış elmi biliklər və ənənəvi radiobiologiyanın və tibbin malik olduğu təcrübələr kifayət etmir. Buna görə də müasir radiobiologiyanın yeni sahələri inkişaf etməyə başladı. Bu sahələrə aşağıdakıları aid etmək olar:

- şüalanmanın kiçik dozalarda bioloji təsirinin və onun gələcəkdə törədə biləcəyi fəsadların öyrənilməsi;
- radionuklidlərin ətraf mühitin kimyəvi çirkləndiriciləri ilə birgə (kombinasion) təsirinin öyrənilməsi;
- şüalanmanın xroniki təsirindən yeni mühafizə vasitələrinin axatarılıb tapılması.

Radiasiya biologiyasının inkişafının müasir mərhələləri çox yaxın vaxtları əhatə etdiyindən, adı çəkilən problemlərin həllində hansısa uğurların olmasından danışmaq hələ tezdir. Fundamental Ümumi radiobiologiya və Tibbi radiobiologiya ilə yanaşı

Radioekologiya elmi də sürətlə inkişaf etməyə başladı. Bu elmin məqsədi çirklənmiş mühitdə yerləşən bioloji obyektlərin ionlaşdırıcı radiasiyanın təsirinə cavab reaksiyasını öyrənməkdir.

Bu mərhələdə Radiasiya biofizikasının qarşısında duran fundamental məsələ zəif təsirlərin yarada biləcəyi radiobioloji effektlərin mexanizmini açmaq olmuşdur. Bu günə məlum olan nəticələrin ümumiləşdirilməsi indiyəcən mövcud olan bir fikrin əksinə fikir söyləməyə əsas verdi. Belə ki, Radiasiya biologiyasında son vaxtlara qədər formalaşmış fikrə əsasən *“radiasiya canlılar üçün istənilən formada zərərli”*. Sadəcə olaraq, o, kiçik dozalarda kiçik, böyük dozalarda isə böyük zərər verir. Başqa sözlə desək, *“ionlaşdırıcı şüalanmanın kiçik dozalarda törətdiyi effektləri böyük dozalara uyğun göstəriciləri kiçik doza oblastına ekstrapolyasiya etmək yolu ilə qiymətləndirmək olar”*. Aydın oldu ki, bu fikir yalnızdır, yəni ionlaşdırıcı şüalanmanın kiçik dozalarda törətdiyi effektləri böyük dozalara uyğun göstəricilərdən sadə ekstrapolyasiya etmək yolu ilə qiymətləndirmək düzgün deyil.

Bu mərhələdə həmçinin müəyyən edildi ki, bioloji obyektlərin kiçik dozalarda radiasiyanın təsirinə yüksək həssaslıq göstərməsi son nəticədə onlarda qeyri - letal yüksək dozalara qarşı radiorezistentliyin formalaşmasına səbəb olur. **“Adaptiv cavab reaksiyası”** adlanan bu fenomen, həm də şüalanmanın boyatmaya, inkişafa və digər fizioloji göstəricilərə təsir etməsinə səbəb olur. Başqa sözlə desək, kiçik dozalarda şüalanma **“hormezis”** effekti adlanan effekt yaradır. Bu zaman həmçinin kiçik dozanın gücü artdıqca, radiobioloji effektlərin təzahürü qeyri - adi dərəcədə zəifləyir. Bu hadisə isə doza gücünün əks effekti adlanır.

Dediklərimizdən aydın olur ki, radiobioloqlar əvvəllər, birmənalı olaraq, radiobioloji dəyişmələrin aşağı intensivlikli şüalanma dozasından xətti asılılığını qəbul edirdilərsə, sonradan aydın oldu ki, bu diapozonda **“doza - effekt”** əyrisi, əslində, xətti olmayıb, qeyri - monoton, sinusoidal xarakter daşıyır. Kiçik dozalarda radiasiyanın təsir xüsusiyyətlərini DNT -nin ilkin zədələnməsinə dair ənənəvi mövqedən izah etmək cəhdləri də uğursuz oldu. Bununla əlaqədar olaraq, bir qrup radiobioloqlar bioloji membranları kiçik doza effektlərində əsas radiobioloji hədəf olaraq qəbul etdilər.

Yaxın vaxtlara qədər hesab olunurdu ki, hüceyrələrin məhv olması, mutasiyalar, xromosom aberrasiyaları, həmçinin də toxumalarda şiş xəstəliklərinin yaranması kimi hüceyrə reaksiyaları DNT - nin ilkin strukturunun birbaşa və dönməz zədələnməsinin nəticəsidir. Əldə olunmuş nəticələr göstərdi ki, oksidativ reaksiyaların hesabına radiasiya hədəflərində, əslində, daha mürrəkəb dəyişmələr baş verir.

Radiobioloqların diqqətini son illər daha bir prinsipial əhəmiyyətli hadisə cəlb etdi. Bu hadisə, şüalanmış hüceyrələrin qonşu şüalanmamış hüceyrələrə təsir edə bilən siqnallar ötürə bilməsi qabiliyyətinin aşkar edilməsi idi. Hesab edilir ki, siqnallar kontakt və ya hüceyrədaxili fəzaya sito- və genotoksiki maddələrin sekresiya olunması yolu ilə ötürülür. **“Şahid effekti”** adını almış bu hadisə, həm total, həm də lokal şüalanmaya məruz qalmış bitki və heyvan toxumalarından ekstraksiya olunmuş radiotoksinlərin tədqiqi zamanı aşkar edilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, sito - və genotoksiki **“şahid effekti”** hüceyrələrin kiçik dozalı α - və γ - şüalanması zamanı

qeydə alınmıŒdır və o, həm bilavasitə Œ alanmıŒ hüceyrələrə, həm də sonrakı nəsillərdə onun bəzi davam ılarına xas olan x susiy tdir. Hal-hazırda sekresiya olunmuŒ maddələrin kimyəvi təbiətinə və onların təsir mexanizminə dair intensiv t dqiqaat iŒl ri aparılır.

RADİOAKTİVLİK HADİSƏSİ

2.1. Radioaktivliyin kəşfi

1895-ci ildə alman fiziki Konrad Rentgen qaz boşalmalarının tədqiqi ilə məşğul olarkən yüksək nüfuzetmə qabiliyyətinə malik naməlum şüalar müşahidə etmiş və həmin şüaları **X-şüalar** adlandırmışdır (Bu şüalar, K.Rentgenin şərəfinə, həm də "**Rentgen şüaları**" adlanır).

Həmin ərafədə əvvəlcədən Günəş şüalarının təsirinə məruz qalmış bəzi maddələrin qaranlıqda "*soyuq işıq*" saçması – **lüminessensiya** etməsi hadisəsi də aşkar edilmişdir. Rentgen şüalarının kəşfindən sonra fransız fiziki Anri Bekkerel lüminessensiya şüalanmasının da rentgen şüalanması olub-olmadığını yoxlamaq məqsədi ilə tədqiqatlar aparmış və ilk dəfə olaraq, ona, sonradan **radioaktiv şüalanma** adlandırılan, yeni növ şüalanmanı aşkar etmək qismət olmuşdur.

Qeyd edək ki, "*lüminessensiya şüalanması rentgen şüalanmasıdır?*" sualının müəllifi Anri Bekkerel yox, fransız fiziki Anri Puankare olmuş və o, **flüoresensiya** edən maddələrin yaratdığı şüalanmanın rentgen şüalanması olmasını sübut etməyə çəhd edən ilk tədqiqatçı olmuşdur.

Məlum olduğu kimi, "*flüoressensiya*" flüorid mineralının adından yaranan söz olub, lüminessensiyanın qısa müddət ərzində sönən növüdür. Anri Bekkerel ilk tədqiqatları üçün məhz yaxşı flüoressensiya edə bilən uran duzundan istifadə etmişdir. Onu da qeyd edək ki, uran duzu XIX əsrin məşhur fiziklərindən olan Edman Bekkerelin (Anri Bekkerelin atası) ən çox sevdiyi tədqiqat obyektidir. Uran duzunun geniş tədqiq olunan obyekt olmasının digər səbəbi isə həmin ərafələrdə uran şüşələrindən düzəldilmiş və flüoressensiya hesabına müxtəlif işıqlar yarada bilən oyun aparatlarına böyük tələbatın olması idi.

Əgər flüoressensiya, həqiqətən də rentgen şüalanmasının yaranmasına səbəb olursa, onda uran duzu nümunələri qara kağıza bükülmüş foto lövhələri qaraltmalı idi. Belə ki, rentgen şüalarının yüksək nüfuzetmə qabiliyyətinə malik olması əvvəlcədən məlum idi. Bekkerelin bu fikrini onun təcrübələri sübuta yetirdi. Belə ki, Günəş şüalarının təsirinə məruz qalan uran duzu nümunələri, yüksək nüfuzetmə qabiliyyətli şüalar yaratmaqla, qara kağıza bükülmüş foto lövhələri qaraltmağa müyəssər oldu. Bu ərafədə maraqlı bir hadisə baş verdi. Kiçik bir təsadüf nəticəsində bir dəfə hava tutqun olduğundan, Bekkerel təcrübə aparmadı və növbəti gün təcrübəyə başlamamışdan əvvəl, hər ehtimala qarşı, nümunəni Günəş şüaları ilə şüalandırmamışdan əvvəl foto lövhəni açdı. Məlum oldu ki, bu halda da, şüalanma halında olduğu kimi, nümunə yaxınlığında yerləşmiş və qara kağıza bükülmüş foto lövhədə ləkələr yara bilər.

Bununla da Bekkerelin uran duzunun heç bir xarici təsir olmadan yüksək nüfuzetmə qabiliyyətli şüalar yarada bilməsini sübut etmiş oldu.

Beləliklə, 1896-cı ilin mart ayının 1-də saat 11-də maraqlı bir hadisə - uran duzunun naməlum şüalar yarada bilməsi hadisəsi kəşf olundu. Aydın oldu ki, yeni şüalar bir çox xassələrinə görə rentgen şüalarına oxşayır. Daha dəqiq desək, bu şüalar da, rentgen şüaları kimi, qalın kağızdan, ağacdən, nazik metal lövhədən sərbəst keçə bilir və rentgen şüalarına oxşar olaraq, havanı ionlaşdırır.

Aşkar oxşarlıqlarına baxmayaraq, sonradan uran duzunun yaratdığı şüaların rentgen şüalarından fərqli xüsusiyyətlərə malik olması müəyyən edildi. Aydın oldu ki, rentgen şüalarından fərqli olaraq, bekkereel şüaları əks olunma və sınma qabiliyyətinə malik deyillər.

Daha sonra uranın çoxlu sayda birləşmələri üzərində təcrübələr aparmaqla, Bekkerel yeni növ şüalanmanın uranın birləşmələrinə deyil, məhz uran elementinin özünə məxsus olduğunu müəyyən edə bildi.

Yeni şüalanma növünün yalnız uran elementinə xas olan xüsusiyyət olduğunu fərz edən Bekkerel, həmin şüalanmaya "**uran şüalanması**" adını verdi.

Həmin vaxtdan başlayaraq uranın bu qeyri-adi xüsusiyyəti bir çox məşhur fizik və kimyaçıların diqqətini cəlb etdi və "**Görəsən, bu cür özbaşına, heç bir xarici təsir olmadan baş verən şüalanma digər kimyəvi elementlər üçün də xarakterikdirmi?**" sualına cavab tapmağa cəhdlər edildi. İlk dəfə olaraq, Pyer Kuri və onun xanımı Mariya Skladovskaya - Kuri müəyyən etdilər ki, uran yeni növ şüalar yarada bilən yeganə kimyəvi element deyil və 1898-ci ildə onlar Fransada **torium** elementinin də həmin formada şüalar yarada bilməsini sübut etdilər. Bundan sonra Pyer və Mariya Kürilər oxşar xassəli elementlər aşkar etmək məqsədi ilə uran və toriuma malik yataqlarda intensiv tədqiqatlara başladılar və tonlarla filizdən bir neçə milliqram miqdarında yeni, o vaxta qədər məlum olmayan kimyəvi element ayıra bildilər. Uran və torium kimi yüksək nüfuzetmə qabiliyyətinə malik şüalar yarada bilən həmin element Mariya Kürinin vətəni Polşanın şərəfinə **polonium** adlandırıldı.

Mariya Kuri bir qədər sonra intensiv şüalanma yaradan başqa bir element də kəşf etdi və həmin element **radium** (*şüa saçan, işıq saçan*) adlandırıldı.

Qeyd edək ki, polonium elementinin kəşfinə görə 1898-ci ildə Mariya Kuri birinci dəfə (Pyer Kuri ilə birlikdə), radiumun kəşfinə görə isə 1911-ci ildə ikinci dəfə Nobel mükafatına layiq görülmüşdür.

Adları çəkilən kimyəvi elementlərin xarici təsir olmadan, özbaşına şüalanma yarada bilməsi hadisəsi Kürilərin təklifi ilə **radioaktivlik hadisəsi**, yaranan şüalar **radioaktiv şüalar**, həmin şüaları yaradan elementlər isə **radioaktiv elementlər** adlandırıldı.

Bu gün müəyyən edilmişdir ki, Mendeleev cədvəlində 83-cü xanada yerləşən elementdən başlayaraq cədvəlin sonuna qədər bütün elementlər radioaktivlik xassəsinə malikdirlər.

Çoxlu sayda tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edildi ki, **radioaktivlik dayanıqsız atomların təbii, özbaşına elə parçalanmasıdır ki, bu parçalanma nəticəsində atomlar**

bir sıra aralıq radioaktiv elementlər yaratmaqla, son nəticədə radioaktiv xassəyə malik olmayan stabil (dayanıqlı) elementlərə çevrilirlər.

Məsələn, uranın belə çevrilmələri son nəticədə stabil qurğuşun elementinin yaranmasına səbəb olur.

1934-cü ildə Parisdə Radium İnstitutunda İren Jolio - Küri (Mariya və Pyer Kürilərin qızı) və onun həyat yoldaşı Frederik Jolio - Küri nüvə reaksiyaları məhsullarının radioaktivliyini – **süni radioaktivliyi** kəşf etdilər. Bu günə məlum olan təxminən iki minə qədər radioaktiv elementdən yalnız üç yüzə qədəri təbii, qalanları isə nüvə reaksiyaları nəticəsində yaranan süni radioaktiv elementlərdir.

Qeyd edək ki, təbii və süni radioaktivliklər arasında prinsipal fərqlər yoxdur. Sadəcə olaraq, süni radioaktivliyin öyrənilməsi β - çevrilmənin *pozitron* β^+ - *şüalanması* və *elektron k - zəbti* kimi yeni növlərinin kəşf olunmasına səbəb oldu (bu barədə sonrakı paraqraflarda ətraflı məlumat veriləcək).

1940-cı ildə sovet fizikləri K.A.Petryak və Q.N.Flerov uran nüvəsinin spontan bölünməsinə kəşf etdilər ki, sonradan bu hadisə çoxlu sayda “ağır” nüvələr üçün də müşahidə olundu.

2.2. Atom nüvəsinin xüsusiyyətləri

Yeni Zelandiyada doğulmuş dahi ingilis fiziki Ernest Rezerford 1911-ci ildə şagirdləri ilə, ilk dəfə olaraq, əsrlər boyu maddələrin bölünməz, ən kiçik zərrəciyi hesab olunan atomun mürəkkəb quruluşa malik olmasını sübut etdi. Rezerfordun təklif etdiyi planetar modelə əsasən atom çox kiçik ölçüyə malik müsbət yüklənmiş nüvədən və onun ətrafında mürəkkəb kvant qanunları üzrə fırlanan mənfi yüklü elektronlardan ibarətdir. Atomun ölçüsü, nüvənin ölçüsü ilə müqayisədə, $\sim 10^4$ dəfə böyükdür və onun həcmnin böyük hissəsi, faktiki olaraq, boş fəzadır. Elektronun kütləsi proton və neytronların kütləsindən ~ 2000 dəfə kiçik olduğundan, proton və neytronlardan təşkil olunmuş nüvədə, demək olar ki, atomun bütün kütləsi toplanmışdır. Atom nüvəsinə təşkil edən zərrəcikləri ümumi ad altında **nuklon** adlandırırlar (*nuklon* - yunan sözü olan “*nukleus – nüvə*” sözündəndir).

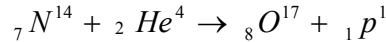
${}_Z X^A$ kimi işarə olunan nüvədə Z - yük ədədi olub, verilmiş nüvənin protona görə nisbi yükünü göstərir. Bəzən proton ədədi adlanan bu rəqəm, aydındır ki, nüvədə protonların sayını (neytral atom üçün həm də elektronların sayını) göstərməlidir. Z - həmçinin kimyəvi elementin Mendeleev cədvəlindəki yerini göstərir.

Kütlə ədədi adlanan A isə nüvəni təşkil edən proton və neytronların (nuklonların) ümumi sayını göstərir.

Aydındır ki, neytronların sayını N ilə işarə etsək, belə olan halda $N = A - Z$ olacaq.

Proton (${}_1p^1$) 1919-cu ildə E.Rezerford tərəfindən kəşf olunmuşdur. Belə ki, o, ilk dəfə olaraq, azot atomlarını α -zərrəciklərlə (helium nüvələri ilə) bombardman etməklə, kimyəvi elementlərin süni çevrilməsi reaksiyasını həyata keçirərkən naməlum zərrəcik aşkar etmiş və həmin zərrəciyi *proton* (yunan sözü olan “*protos – ilk*” sözündəndir) adlandırmışdır.

Protonun alınması ilə baş verən reaksiyanı



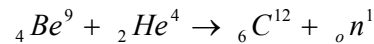
kimi təsvir etmək olar.

Sonradan aydın olmuşdur ki, stabil elementar zərrəcik olan sərbəst proton müsbət elementar yükü daşıyan zərrəcikdir. Bu zərrəciyin yükü $q_p = 1.6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$ (yəni elektronun yükünün mütləq qiymətinə bərabər), kütləsi isə elektronun kütləsindən ~ 3 tərtib (daha dəqiq desək, 1836.2 dəfə) böyükdür. Deməli, $m_p = 1836.2 \cdot m_e$ - dir.

Məxsusi dipol momentinə malik olmayan proton \hbar vahidlərində $s = \frac{1}{2} \hbar$ -ə bərabər spinə və $\mu_p \approx 2.79 \mu_{n\ddot{u}v\grave{a}}$ qədər məxsusi maqnit momentinə malikdir (burada nüvə maqnetonu $\mu_{n\ddot{u}v\grave{a}} = 5.05 \cdot 10^{-27} \text{ C/Tl}$ -yə bərabərdir).

Neytron (${}_0n^1$) isə E. Rezerfordun şagirdi ingilis fiziki Ceymis Çedvik tərəfindən kəşf olunmuşdur. Nüvə fizikasında çox mühüm hadisə olan bu kəşf 1932-ci ildə berilliumun α -zərrəciklərlə bombardman edilməsi zamanı mümkün olmuşdur. Belə ki, bu zaman, əvvəlki təcrübələrdəki kimi proton deyil, hətta $10\text{-}20 \text{ sm}$ qalınlıqlı qurğuşun lövhəni belə sərbəst keçə bilən, yüksək nüfuzetmə qabiliyyətli yeni zərrəcik yaranmışdır. Elektrik cəhətdən neytral olduğundan yaranan zərrəciyə *neytron* adı verilmişdir.

Neytronun yaranması ilə baş verən həmin reaksiyanı



kimi təsvir etmək olar.

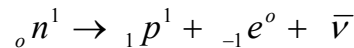
Müəyyən edilmişdir ki, neytron protonun kütləsinə yaxın kütləyə malikdir. Deməli, bu zərrəciyin də kütləsi elektronun kütləsi ilə müqayisədə təxminən 3 tərtib böyükdür. Daha dəqiq desək, $m_n = 1838.6 \cdot m_e$ - dir.

Dediklərimizdən aydın olur ki, proton və neytronun kütlələri təxminən eyni olub, elektronun kütləsindən ~ 2000 dəfə böyükdür: $m_n \approx m_p \approx 2000 \cdot m_e$.

Tədqiqatlar neytronun $s = \frac{1}{2} \hbar$ -ə bərabər spinə malik olduğunu göstərmişdir.

Neytron, yüksüz olmasına baxmayaraq, $\mu_n = -1.91 \cdot \mu_{n\ddot{u}v\grave{a}}$ qədər maqnit momentinə malikdir (" - " işarəsi spin və məxsusi maqnit momenti vektorlarının əks istiqamətli olduğunu göstərir).

Sərbəst neytron, protondan fərqli olaraq, stabil zərrəcik deyil və 15 dəqiqə ərzində



sxemi üzrə parçalanaraq, proton (${}_1p^1$) və elektron (${}_{-1}e^0$) yaradır.

Reaksiya nəticəsində antineytrino ($\bar{\nu}$) adlanan başqa bir zərrəcik də yaranır ki, onun haqqında isə bir az sonra daha ətraflı danışacağıq.

Neytronun kəşfindən az sonra rus nəzəriyyəçi - fiziki Dimitri İvanenko nüvənin *neytron – proton* quruluşu haqqında ilk fikir söylədi və bu fikir sonradan alman fiziki Verner Heyzenberq tərəfindən daha da dəqiqləşdirildi.

Bu gün məlumdur ki, atom nüvələri stabil (dayanıqlı) və qeyri-stabil (dayanıqsız) olmaqla, 2 qrupa bölünürlər və nüvənin proton və neytronları arasında nüvə qüvvələri adlanan çox güclü qarşılıqlı təsir qüvvələri mövcuddur.

İzotoplar. Radioaktiv çevrilmələrin öyrənilməsi göstərdi ki, kimyəvi xassələrinə görə fərqlənməyən və buna görə də eyni cür kimyəvi reaksiyalar yarada bilən, lakin fiziki xassələri (məsələn, radioaktivlik xassəsi) müxtəlif olan maddələr mövcuddur. Aydın ki, eyni kimyəvi xassələrə malik olduğundan, bu maddələrin atomları eyni yükə malik olmalı və Mendeleev cədvəlində eyni xanada yerləşməlidirlər. Bu səbəbdən də ingilis kimyaçısı Frederik Soddi həmin elementləri izotoplar (eyni xananı tutan) adlandırmışdır.

Sonradan müəyyən edildi ki, izotoplar təkcə radioaktivlik xassəsinə görə deyil, həm də kütlələrinə görə bir - birindən fərqlənirlər. Deməli, izotoplar eyni yükə, lakin müxtəlif kütlə ədədinə malik atomlardır. İzotopların atom nüvələrinin yükü eyni olduğundan, elektron örtüklərində olan elektronların sayı da eyni olur. Bu səbəbdən də izotoplar eyni kimyəvi xassəyə malik olurlar. İzotopların kütlələrinin müxtəlif olması isə onların müxtəlif radioaktiv xassəyə malik olmasına səbəb olur. Müəyyən edilmişdir ki, izotopların kütlələrindəki fərqlər onların nüvələrindəki neytronların sayının müxtəlifliyi ilə əlaqədardır.

Məlum olduğu kimi, əksər kimyəvi elementlər bir neçə stabil və qeyri-stabil izotoplara malik olurlar. Məsələn, hidrogen atomunun ${}^1_1\text{H}^1$ (*protium*), ${}^1_1\text{H}^2$ (*deyterium*) və ${}^1_1\text{H}^3$ (*tritium*) kimi üç müxtəlif izotopu vardır. ${}^1_1\text{H}^1$ izotopu - bir proton və bir elektrondan, ${}^1_1\text{H}^2$ izotopu - bir proton, bir elektron və bir neytrondan, ${}^1_1\text{H}^3$ izotopu isə - bir proton, bir elektron və iki neytrondan ibarətdir.

Kimyəvi elementin *qeyri - stabil (radioaktiv)* olmasının səbəbi onun nüvəsindəki neytronların sayının, protonlarla müqayisədə, xeyli çox olmasıdır. Bu səbəbdən də hidrogenin izotoplarından protium və deyterium stabil, tritium isə qeyri - stabil (radioaktiv) elementdir.

Təbiətdə mövcud olan uran da üç izotopun qarışığından ibarətdir. Bunlardan ${}_{92}\text{U}^{238}$ izotopu ümumi qarışığın 99.27 % - ni, ${}_{92}\text{U}^{235}$ izotopu – 0.72 %-ni, ${}_{92}\text{U}^{234}$ izotopu isə - 0.01 %-ni təşkil edir. Uranın hər üç izotopu dayanıqsızdır.

2.3. Radioaktiv şüaların təbiəti

Təbii radioaktiv elementlərin yaratdığı şüalanmanın öyrənilməsi göstərdi ki, sadə bircins quruluşa malik olan rentgen şüalarından fərqli olaraq, radioaktiv şüalar kifayət qədər mürəkkəb təbiətə malikdirlər. Qeyd edək ki, rentgen şüalanması dalğa uzunluğu 10^{-14} m -dən 10^{-7} m -ə qədər olan elektromaqnit dalğalarıdır.

Məlum olduğu kimi, radioaktiv şüaların təbiətini öyrənmək məqsədi ilə bu şüalara elektromaqnit sahəsi ilə təsir edilmiş və əks istiqamətlərə meyli edən 2 dəstə alınmışdır ki, bu da, onların əks işarəli yüklərə malik zərrəciklər seli olmasını göstərmişdir.

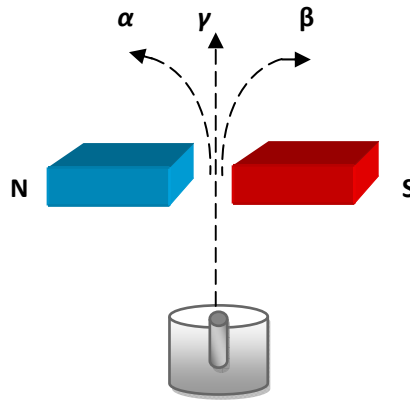
Radioaktiv mənbələrin maqnit sahəsində yerləşdirilməsi də bu şüalanmanın

qeyri-bircins xarakterli olmasını sübut etmiş və, əlavə olaraq, əks işarəli zərrəciklərin müxtəlif kütlələrə malik olması müəyyən edilmişdir (şəkil 2.1).

Sonrakı tədqiqatlar maqnit sahəsində sola meyl edən şüalanmanı ikiqat ionlaşmış helium atomlarının (helium atomlarının nüvələrinin), sağa meyl edən şüalanmanı isə işıq sürətinə yaxın sürətlə hərəkət edən elektronların yaratmasını göstərdi. Bu şüalar, uyğun olaraq, α - və β - **şüalar** adlandırıldı.

Az sonra radioaktiv şüalanmanın üçüncü komponentə də malik olması müəyyən edildi. Aydın oldu ki, üçüncü komponent rentgen şüalanmasına oxşar xüsusiyyətlərə malikdir. Fərq yalnız ondan ibarətdir ki, bu şüalanma, rentgen şüalanması ilə müqayisədə, daha yüksək tezliyə və nəticədə daha yüksək nüfuzetmə qabiliyyətinə malik şüalanmadır.

Radioaktiv şüalanmanın bu komponenti γ - şüalar adlandırıldı.



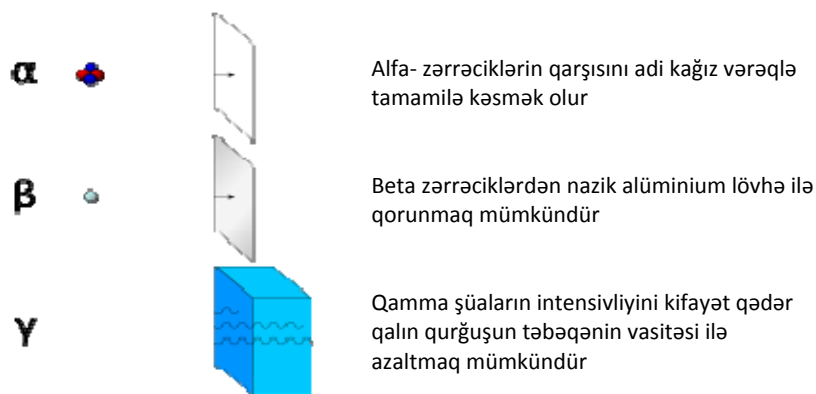
Şəkil 2.1. Radioaktiv şüalanmanın qeyri-bircins xarakteri

Məlum oldu ki, müxtəlif mühitlərə (maddələrə) nüfuzetmə qabiliyyətinə görə α -, β - və γ - şüalar bir-birindən kəskin fərqlənir. Belə ki, α - şüalar ən kiçik, β - şüalar nisbətən böyük, γ - şüalar isə çox yüksək nüfuzetmə qabiliyyətinə malikdirlər. Daha dəqiq desək, α - şüalar üçün hətta 0.1 mm qalınlıqlı kağız vərəq belə qeyri-şəffaf mühit olduğu halda, β -şüalar bir neçə millimetr qalınlığında alüminium lövhə tərəfindən tamamilə udulurlar, γ -şüalar isə 1 sm qalınlıqlı qurğuşun lövhəni belə sərbəst keçə bilirlər (şəkil 2.2).

2.4. Radioaktivliyin növləri

Radioaktivlik dedikdə, elementar zərrəciklər və yaxud da γ - kvantlar şüalandırmaq yolu ilə bir atom nüvəsinin özbaşına digər atom nüvəsinə çevrilməsi başa düşülür.

Radioaktivliyin α - parçalanma, β - çevrilmə (elektron zəbti də daxil olmaqla), γ -



Şəkil 2.2. α -, β - və γ - şüaların mühitlərə nüfuzetmə qabiliyyətini əks etdirən sxem.

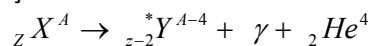
şüalanma, neytron şüalanması, bir protonlu və iki protonlu radioaktivlik, klasterli radioaktivlik və ağır nüvələrin spontan bölünməsi kimi növləri vardır.

Qeyd edək ki, radioaktiv çevrilmələrin sadalanan növlərinin hamısında enerjinin, impulsun, hərəkət miqdarı momentinin, elektrik, barion və lepton yüklərinin saxlanması qanunları ödənilir.

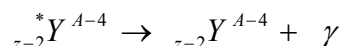
2.4.1. α - parçalanma. Artıq qeyd etdiyimiz kimi, α - parçalanma helium atomlarının nüvələrindən ibarət zərrəciklər selinin yaranması ilə müşayiət olunan şüalanma növüdür. İki proton və iki neytrondan ibarət helium nüvəsinin kütləsi 4.002777 a.k.v. -ə bərabərdir.

Bu günədək qırxa qədər təbii, iki yüzdən artıq isə süni α - aktiv nüvə müəyyən etmək mümkün olmuşdur.

α - parçalanma nəticəsində "ana" nüvə adlanan ${}_Z^A X$ nüvəsi aşağıdakı sxem üzrə yeni ${}_{Z-2}^{A-4} Y$ "qız" nüvəsinə çevrilir:



Burada *Y işarəsi ilə həyəcanlanmış halda olan nüvə göstərilmişdir ki, o da, γ -kvant şüalandırmaqla



sxemi üzrə həyəcanlanmamış hala keçir.

α - radioaktiv nüvələrin şüalandırdığı α - zərrəciklərin kinetik enerjisi adətən müəyyən bir qiymətə malik olur. Əksər α - radioaktiv elementlər üçün bu qiymət 4-9 Mev intervalında dəyişir. Bu nüvələrin yarımparçalanma periodları isə, əksinə, kifayət qədər geniş intervala (10^{-7} san - dən $2 \cdot 10^{17}$ il - ə qədər) malik olur.

Mühitin müəyyən təbəqəsindən keçərkən α - zərrəciklər, əsasən, atom və molekulların xarici elektronları ilə qeyri - elastiki qarşılıqlı təsirdə olurlar. Bu zaman α - zərrəciyin elektrik sahəsi həmin elektronları o həddə qədər sürətləndirir ki,

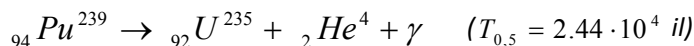
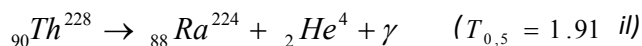
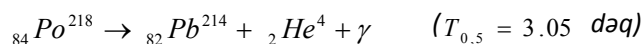
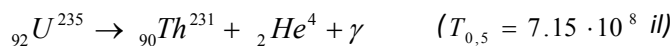
nəticədə elektronlar nüvənin kulon qarşılıqlı təsirinə üstün gələrək, ondan ayrılı bilirlər. Başqa sözlə desək, bu formada qarşılıqlı təsir mühitin atom və molekullarının ionlaşmasına səbəb olur. Qaçış yolunun sonunda α - zərrəciyin enerjisi artıq ionlaşma yaratmağa kifayət etməyən həddə çatır və son nəticədə α - zərrəcik özünə 2 sərbəst elektron birləşdirməklə, helium atomuna çevrilir.

Qeyd edək ki, böyük kütləyə və 2 qat elementar yükə malik α - zərrəciklər yüksək ionlaşdırma qabiliyyətli olmalarına baxmayaraq, γ - kvantlarla müqayisədə çox kiçik nüfuzetmə qabiliyyətinə malik olurlar.

α - zərrəciklər malik olduqları yüksək enerjilərini tez bir zamanda çoxlu sayda ilkin ionlaşma aktlarına sərf etdiklərindən onların qaçış yolları çox qısa olur. Məsələn, normal atmosfer təzyiqində havada bu yol 11 sm -dən çox olmur, sıx mühitlərdə isə bundan da qısa olur. İnsanın yumşaq toxumalarında α - zərrəciyin qaçış yolu mikron -larla (mikrometr -lərlə) ölçülür ($1\text{mkm} = 10^{-6}\text{m} - \text{dir}$). Adi kağız vərəq isə α - zərrəciyi tamamilə tutub saxlayır.

α -zərrəciyin qaçış yolunda yaratdığı tam ionlaşma bir neçə yüz min ion cütünün yaranması ilə nəticələnir. Nəzərə alsaq ki, atomun bir ionlaşma aktı üçün 35 eV enerji tələb olunur, onda asanlıqla hesablamaq olar ki, 7 Mev enerjiyə malik α - zərrəcik qaçış yolu boyunca $2 \cdot 10^5$ cüt ion yarada bilər. Aydınır ki, α - zərrəciyin enerjisi çox olan halda onun həm qaçış yolu, həm də əmələ gələn ion cütlərinin sayı çox olacaq.

Qeyd edək ki, α - parçalanma uran, polonium, torium, plutonium və s. kimi ağır elementlərin nüvələri üçün xarakterikdir. Adı çəkilən elementlərin α - parçalanması aşağıda sxemlər üzrə baş verir:

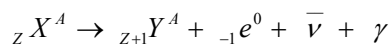


($T_{0,5}$ - yarımparçalanma periodu adlanır ki, bu barədə də az sonra məlumat veriləcəkdir).

2.4.2. β - çevrilmə. β - çevrilmənin elektron (${}_{-1}e^0$) şüalanması ilə baş verən çevrilmə, pozitron (${}_{+1}e^0$) şüalanması ilə baş verən çevrilmə və elektron zəbti (k - zəbti) ilə baş verən çevrilmə kimi növləri vardır. Bu çevrilmələr uyğun olaraq, β^- - çevrilmə, β^+ - çevrilmə və k - zəbti adlanır.

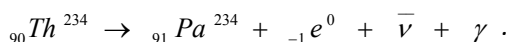
Bu şüalanma növləri ilə ayrı - ayrılıqda tanış olaq.

β^- - çevrilmə. β^- - çevrilməni sxematik olaraq,

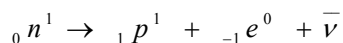


kimi təsvir etmək olar (burada $\bar{\nu}$ - antineytrinodur).

Deməli, β^- - çevrilmə γ - şüalanma ilə yanaşı, həm də antineytrino adlanan zərrəciyin şüalanmasına səbəb olur (bu barədə az sonra). Bu çevrilməyə misal olaraq, *torium* - 234 izotopunun parçalanmasını göstərmək olar:



Qeyd edək ki, β^- -parçalanma zamanı elektronlar dayanıqsız nüvələrdə (neytronların sayı protonlarla müqayisədə çox olan nüvələrdə) neytronların protonlara çevrilməsi prosesində yaranır. Bu proses aşağıdakı sxem üzrə baş verir:

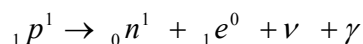


Belə sadə formada β^- - çevrilmə $T_{0.5} = 10.5$ dəq - ə bərabər yarımparçalanma periodu ilə xarakterizə olunur.

Bu reaksiyanın xarakterik xüsusiyyəti ona uyğun spektrin, α - parçalanmadan fərqli olaraq, kəsilməz olmasıdır ki, bunun da izahını uzun müddət vermək mümkün olmamışdır. Hətta bu sahənin tədqiqatçıları arasında bir müddət bu prosesdə enerjinin saxlanması qanununun ödənilməməsi barədə fikir də formalaşmışdı. Bu vəziyyətdən çıxış yolu 1931 - ci ildə tapıldı. Qəbul olundu ki, β^- - çevrilmə prosesində qeydə alınması mümkün olmayan kütləsiz, neytral zərrəcik - *neytrino* (ν) və ya *antineytrino* ($\bar{\nu}$) yaranır.

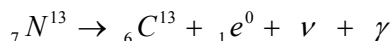
β^- - parçalanma zamanı yaranan elektronlar sıfırdan müəyyən E_{max} - a qədər müxtəlif qiymətlər ala bilən enerjiyə malik ola bilirlər. Bəzi hallarda β^- - zərrəciklərin maksimal enerjisi 10 Mev - ə çata bilər.

β^+ - çevrilmə. Bu çevrilmə protonun neytrona daxili çevrilməsi nəticəsində baş verir və proses *pozitronun* (${}_{+1}e^0$) yaranması ilə müşayiət olunur (*pozitron* - elektronun yükünün işarəsi ilə fərqlənən anti zərrəciyidir). Prosesi sxematik olaraq,



şəklində təsvir etmək olar.

Bu formada çevrilməyə misal olaraq, azot -13 izotopunun



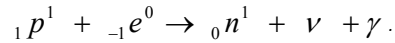
şəklində çevrilməsini göstərmək olar:

Bu halda da enerji çatışmamazlığını izah etmək üçün 1932-ci ildə Volfqanq Pauli təklif etmişdir ki, β^+ - parçalanma zamanı pozitronla yanaşı başqa bir zərrəcik də yaranır. İtalyan fiziki Euriko Fermi həmin zərrəciyi ***neytrino*** (*kiçik neytron*) adlandırmışdır.

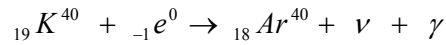
Neytrino və antineytrino kimi zərrəciklərin mövcudluğu təcrübi yolla yalnız 1953-1954-cü illərdə sübut olundu və müəyyən edildi ki, bu zərrəciklər elektrik cəhətdən neytral ($Z=0$) zərrəciklərdir. Neytrino və antineytrionun sükunət kütlələri yoxdur. Onlar yalnız hərəkət zamanı kiçik kütləyə malik olurlar. Zərrəciklər $s = \frac{1}{2} \hbar$ - yə bərabər spinə malikdirlər.

K-zəbti. K-zəbti adlanan elektron zəbtinin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, nüvə öz atomunun k - buludundan bir elektron udur, nəticədə protonlardan biri neytrino şüalandırmaq yolu ilə neytrona çevrilir. Bu halda yaranan nüvə həyacanlanmış halda

olur ki, o da, γ - kvant şüalandırmaqla, aşağıdakı sxem üzrə əsas hala keçir:



1937 -ci ildə təcrübi yolla təsdiqini tapmış bu hadisəyə misal olaraq, kalium -40 izotopunun K - zəbtini göstərmək olar:



İndi də β - zərrəciklərin bəzi ümumi xüsusiyyətləri ilə tanış olaq. Müəyyən edilmişdir ki, elektrik və maqnit sahələrində β -zərrəciklər, α -zərrəciklərlə müqayisədə, daha çox meyl edirlər. Bu zərrəciklər maddə ilə qarşılıqlı təsir zamanı güclü səpilməyə məruz qalırlar və onların ionlaşdırma qabiliyyəti, α -zərrəciklərlə müqayisədə, yüz dəfələrlə kiçik olur.

Kiçik ionlaşdırma qabiliyyətinə malik β - zərrəciklərin qaçış yolunun uzunluğu, yenə də α - zərrəciklərlə müqayisədə, xeyli böyük olur. Bu yol, qazlarda $10 m$ - lərlə, metallarda bir neçə mm tərtibində, bioloji toxumalarda isə təxminən $15 mm$ -ə qədər olur.

β - zərrəciklərdən qorunmaq üçün, adətən, metal və ya plastmas ekranlardan istifadə edilir. Bu halda nəzərə almaq lazımdır ki, β - zərrəciyin maddə ilə toqquşması, həm də *tormoz - rentgen şüalanmasının* yaranmasına səbəb olur.

2.4.3. γ -şüalanma. γ - şüalar öz xassələrinə görə rentgen şüalarına oxşasalar da, onların nüfuzetmə qabiliyyəti sonuncularla müqayisədə xeyli böyükdür. Bu şüaların qazlarda qaçış yolunun uzunluğu $\sim 100 m$ -ə bərabər olur. Qurğuşun lövhəyə γ - şüalar $5 sm$ dərinliyə qədər nüfuz edə bilir, insan bədənini isə bütövlükdə "deşib" keçə bilir.

γ - şüalar, elektromaqnit dalğası olaraq, rentgen şüaları kimi " c " sürəti ilə yayılırlar. Məlum olduğu kimi, bu sürət bütün elektromaqnit dalğalarının, o cümlədən də işığın vakuumda yayılma sürətidir.

γ - şüalar elektrik və maqnit sahələrində meyl etmir, kristallarda isə difraksiya edə bilirlər.

Maraqlıdır ki, yüksək nüfuzetmə qabiliyyətinə malik γ -şüaların ionlaşdırma qabiliyyəti çox da böyük deyil. γ - şüalanmaya uyğun zərrəciklər maddədən keçən zaman, həm onun atomlarının elektronları və nüvənin elektrik sahəsi ilə, həm də proton və neytronlarla qarşılıqlı təsirdə olurlar. Bu zaman ilkin şüa dəstəsinin intensivliyi maddəni keçən zaman xeyli azalır və son nəticədə bərk maddədə enerji itkisi **fotoeffekt, Kompton effekti, elektron - pozitron cütünün yaranma effekti, nüvə fotoeffekti** kimi hadisələrin yaranmasına səbəb olur.

Fotoeffekt dedikdə, işığın təsiri ilə maddədən elektronların qopması hadisəsi başa düşülür. Bu hadisə bərk maddələrdə kiçik enerjili γ -kvantların udulmasının əsas mexanizmini təşkil edir. Fotoeffekt prosesində γ -kvantin $E = h\nu$ -yə bərabər enerjisinin, demək olar ki, hamısı atomun elektronlarından birinə verilir. Bu zaman udulan enerjinin çox da böyük olmayan hissəsi (elektronun metaldan $A_{çixış}$ - çıxış işinə bərabər hissəsi) elektronun qoparılmasına, qalan hissəsi isə ona kinetik enerji verilməsinə sərf olunur.

Enerjinin saxlanması qanuna əsasən fotoeffekt düsturunu (Eynşteyn düsturunu) aşağıdakı kimi yazmaq olar (burada m_e və u , uyğun olaraq, elektronun kütləsi və sürətidir):

$$h\nu = A_{\text{çixış}} + \frac{m_e u^2}{2}$$

Qeyd edək ki, sərbəst elektronlarda fotoeffekt mümkün deyil.

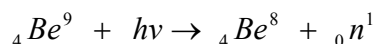
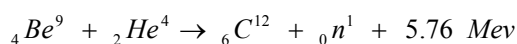
Kompton effekti foton şüalanmasının atomun xarici elektron təbəqəsindəki elektronları ilə elastiki toqquşması zamanı baş verir. Bu zaman foton, enerjisinin bir hissəsini elektrona verməklə, ondan səpilir.

Enerji və impulsun saxlanması qanunlarına tabe olan Kompton effekti yüngül atomlar üçün fotonun enerjisi $0.5 - 10 \text{ MeV}$, ağır atomlar üçün isə $0.5 - 5 \text{ MeV}$ olan hallarda baş verir.

Dediklərimizdən aydın olur ki, foton şüalanmasının enerjisi $0.5 - 10 \text{ MeV}$ intervalında olduqda, Kompton effekti γ - kvantların maddə tərəfindən udulması prosesində əsas rol oynayır. γ - kvantın enerjisinin böyüməsi Kompton səpilməsi ehtimalını azaldır.

Elektron - pozitron cütünün yaranması. Bəzi hallarda şüalanma kvantlarının şüaları udan mühitin atom nüvələrinin elektrik sahəsi ilə qarşılıqlı təsiri elektron - pozitron cütünün yaranmasına səbəb olur. Bu zaman kvant yox olur, başqa sözlə desək, **annihilasiya** edir. Bu proses, enerjisi 1.022 MeV -dən böyük olan şüalanma halında baş verir və mühüm prinsipial əhəmiyyət kəsb edir. Belə çıxır ki, elektromaqnit şüalanması zərrəciyə və ya, əksinə, zərrəcik elektromaqnit şüalanmasına çevrilə bilər. Bu isə materiyanın hər iki formasının eyni təbiətə malik olmasından xəbər verir.

2.4.4. Neytron şüalanması. Bəzi atomları sürətli zərrəciklərlə və ya γ -kvantlarla bombardman edən zaman neytron şüalanması müşahidə olunur. Məsələn, neytronları nüvə daxilində zəif əlaqədə olan berillium atomları α -zərrəciklərin (həm də γ - fotonların) təsiri ilə neytron mənbəyinə çevrilə bilər:



Neytronlar, elektrik yükünə malik olmadığına görə, mühitin atom və molekullarını birbaşa ionlaşdırma bilmir. Maddədən keçərkən onlar, böyük ehtimalla, atom nüvələri ilə qarşılıqlı təsirdə olurlar. Daha dəqiq desək, neytronlar nüvələrlə toqquşaraq, öz enerjilərinin bir hissəsini onlara verir və nəticədə "**ötürücü nüvə**" adlanan nüvə yaranır. Özləri isə tormozlanaraq, enerjilərini itirirlər və yaxud da səpilməklə maddədən kənarlaşırlar. Bu prosesdə neytronlar enerjilərinin çox hissəsini kütləsi özlərinin kütlələrinə yaxın olan nüvələrlə toqquşma zamanı onlara verə bilirlər. Son nəticədə neytronlar həmin nüvələrə birləşməklə, α -, β^- -, β^+ - şüalanma yarada bilən dayanıqsız nüvələr əmələ gətirirlər.

Dediklərimizdən aydın olur ki, neytronların maddə tərəfindən udulması böyük enerjiyə malik "**ötürücü nüvələr**" yaradır ki, bu da, atomların "**kənardan alınma radioaktivliyinə**" səbəb olur.

Qeyd edək ki, hər iki hadisə maddənin güclü ionlaşması ilə müşayiət olunur.

Neytronlar canlı orqanizmin hidrogenə malik toxumaları üzərinə düşərkən, öz enerjilərini protonlara verir və, beləliklə də, sonuncular maddənin atom və molekullarını güclü ionlaşdırmaq qabiliyyəti əldə edirlər.

Neytron şüalanması çox yüksək nüfuzetmə qabiliyyətinə malik şüalanma növüdür. Bu şüalanmadan, ümumiyyətlə, qorunmaq mümkün deyil. Atom bombaları, nüvə reaktorları neytron mənbələri rolunu oynayır. Neytronlar elektrik yükünə malik olmadıqlarından, çox asanlıqla atoma daxil olmaqla, nüvəyə yaxınlaşa bilirlər. Bu zaman onlar nüvədən səpilmə və yaxud da nüvə tərəfindən udula bilirlər.

Neytronlar çox geniş diapazonda enerjiyə malik ola bilirlər. Belə ki, onların enerjisi çox kiçik qiymətdən milyonlarla elektron-volta qədər yüksək həddə çata bilər. Bu səbəbdən də neytronlar, malik olduqları enerjinin qiymətindən asılı olaraq, müxtəlif növ səpilmələrdə iştirak edirlər. Bu səpilmə növləri ilə tanış olaq.

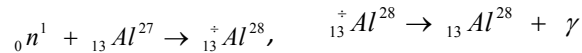
Elastiki səpilmə. Əksər hallarda neytronlar maddə ilə qarşılıqlı təsir zamanı nüvə tərəfindən udulurlar. Bu zaman onlar enerjilərinin bir hissəsini itirməklə, müəyyən ϑ bucağı altında nüvədən səpilir.

Neytronların sürətlərinin səpilmə yolu ilə azalması prosesi istilik hərəkəti sürəti alınana qədər davam edir.

Elastiki toqquşma nəticəsində neytronların sürətlərinin azalması prosesi yüngül nüvələrdə daha effektiv olur. Bu zaman ən ideal hal neytron və protonun qarşı - qarşıya gəlməsi zamanı baş verən toqquşmadır. Neytron və protonun kütlələri təxminən bərabər olduğundan, bu prosesdə birinci öz kinetik enerjisini tamamilə itirə bilər. Bu səbəbdən də neytron ləngidiciləri olaraq, hidrogenə, yəni protona malik su, parafin, qrafit, üzvi şüşə kimi maddələrdən istifadə olunur.

Qeyri elastiki səpilmə. Neytronun nüvə ilə qarşılıqlı təsiri zamanı başqa bir proses – neytronun udulması prosesi də baş verə bilər. Bu zaman son nəticədə həyəcanlanmış halda olan yeni nüvə yaranır ki, o da 10^{-17} san müddətindən sonra parçalanmaya məruz qalır.

Neytron zəbt. Kiçik sürətli neytronlar nüvə ilə daha "rahat" qarşılıqlı təsirdə ola bilər və çox asanlıqla onlar tərəfindən udula bilirlər. γ - şüalanma ilə müşayiət olunan bu proses, konkret olaraq, alüminium nüvələri üçün aşağıdakı sxem üzrə baş verir:



Enerjisi təxminən 1.0 MeV olan neytronlar nüvələrdən səpilməklə, onlarla qarşılıqlı təsirdə olurlar. Çoxlu səpilmələrdən sonra neytronların enerjisi istilik enerjisinə ($E_{ist} = kT$) bərabər olur. Otaq temperaturunda ($T=300$ K) bu enerji $E_{ist} \approx 0.026$ eV qədər olur.

2.4.5. Bir protonlu və iki protonlu radioaktivlik. Bir protonlu radioaktivlik dedikdə, əsas halda olan nüvənin proton şüalandırması başa düşülür. Bu formada proses yüksək neytron çatışmazlığı olan süni nüvələrdə baş verə bilər.

Bir protonlu radioaktivlik, ilk dəfə olaraq, 1982 – ci ildə ${}_{71}Lu^{151}$ nüvəsində müşahidə olunmuşdur. Qeyd edək ki, bu nüvə, özünün β - stabil ${}_{71}Lu^{175}$ izotopu ilə müqayisədə, 24 ədəd az neytrona malikdir.

Nəzərə almaq lazımdır ki, proton şüalanması yalnız o hallarda mümkün olur ki, bu prosesin yarımparçalanma periodu çox da böyük olmasın ($T_{0.5} \ll 1 \text{ san}$).

Sürətləndirici qurğular yaradılması sahəsində əldə edilmiş nailiyyətlər ${}_{77}\text{Lu}^{165}$, ${}_{79}\text{Au}^{171}$ və ${}_{83}\text{Bi}^{185}$ kimi nüvələrdə də proton şüalanmasını müşahidə etməyə imkan vermişdir.

Radioaktiv parçalanmanın yeni növünün – iki protonlu parçalanmanın da mümkünlüyünü, ilk dəfə olaraq, V.İ. Qoldanski (*Базь А.И., Гольданский В.И. и др., 1972*) söyləmişdir. Hesab edilir ki, bu proses proton çoxluğuna malik yüngül nüvələrdə ($Z \leq 50$) müşahidə olunmalıdır. Bir proton şüalandıqdan sonra dayanıqlı olan bu nüvələr eyni zamanda iki proton şüalandırmağa görə qeyri-stabil ola bilərlər.

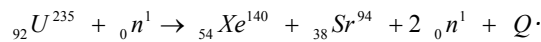
2.4.6. Klasterli radioaktivlik. 1984 - cü ildə İngiltərədə Oksford Universitetinin alimləri radium - 223 izotopunun karbon - 14 nüvəsinin yaranması ilə nəticələnən parçalanmasını müşahidə edə bilmişlər.

Bu günə qədər radiumdan tutmuş plutoniuma qədər onlarla belə radionuklid müəyyənləşdirilmişdir ki, bunların da radioaktiv parçalanması kütlələri α -zərrəciklərlə parçalanma qəlpələri olan ${}_{6}\text{C}^{14}$, ${}_{10}\text{Ne}^{24}$, ${}_{12}\text{Mg}^{28}$, ${}_{14}\text{Si}^{32}$ atomlarının kütlələri arasında aralıq yer tutan zərrəciklərin yaranmasına səbəb olur (*Чувильский Ю.М., 1997*).

Kifayət qədər maraqlı doğuran radioaktiv parçalanmanın bu növü klasterli radioaktivlik adını almışdır.

2.4.7. Ağır nüvələrin spontan bölünməsi. Ağır nüvələrin spontan bölünməsi dedikdə, onların əks istiqamətlərdə çox yüksək sürətlə uçan iki qəlpəyə bölünməsi başa düşülür. Bu halda qəlpələrin kütlələri Mendeleyevin dövrü sisteminin ortalarında yerləşən qalliumdan ($Z = 31$) başlamış qadoliniuma ($Z = 64$) qədər olan izotoplara uyğun gəlir.

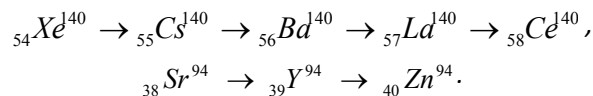
Maraqlıdır ki, ağır nüvələrin spontan bölünməsi zamanı yaranan ilkin parçalanma məhsulları artıq neytronlara malik olurlar ki, onlar da, β -çevrilmə yolu ilə parçalanma məhsullarından ayrılırlar. Nüvələrin bu cür bölünməsi zamanı adətən 2-3 dənə sərbəst neytron ayrılır. Məsələn, uran - 235 nüvəsinin bölünmə reaksiyasını, sxematik olaraq, aşağıdakı kimi göstərmək olar:



Qeyd edək ki, bu bölünmə reaksiyasını, ilk dəfə olaraq, Enriko Fermi və onun əməkdaşları həyata keçirmişlər.

Burada ${}_{54}\text{Xe}^{140}$ və ${}_{38}\text{Sr}^{94}$ – uran nüvəsinin bölünməsi zamanı yaranan qəlpələr, ${}_0n^1$ – kiçik sürətli neytronlar, Q – reaksiya zamanı ayrılan enerjidir.

Reaksiya məhsulları olan ilkin ksenon - 140 və stronsium - 94 qəlpələrinin özləri də radioaktiv olurlar və onlar da, öz növbəsində, aşağıdakı sxem üzrə ardıcıl β^- - parçalanmalara məruz qalırlar:



Sonrakı tədqiqatlar göstərdi ki, uran nüvəsinin bölünməsi müxtəlif yollarla baş verə bilər. Bu zaman 80 - ə qədər müxtəlif qəlpələr yarana bilər ki, bunlardan da ən

böyük ehtimalla yarana bilən qəlpələrin kütlələrinin nisbəti 2 : 3 - ə bərabər olan qəlpələrdir.

2.5. Radioaktiv parçalanma qanunu.

Radioaktiv parçalanma prosesində hər bir dayanıqsız nüvə

$$A_t = \left| \frac{\Delta N}{\Delta t} \right| \quad (2.1)$$

sürəti ilə parçalanır (burada N – radioaktiv nüvələrin sayı, t - parçalanma müddətidir).

Aydın ki, radioaktiv parçalanmanın aktivliyini müəyyən edən sürət verilmiş t anı üçün parçalanmamış nüvələrin sayına düz mütənasib olmalıdır. Başqa sözlə desək, parçalanma zamanı

$$A_t = -\lambda \cdot N \quad (2.2)$$

şərti ödənməlidir.

Burada λ - vahid zamanda nüvə parçalanmaları ehtimalını xarakterizə edən radioaktiv parçalanma sabitidir («-» işarəsi zaman keçdikcə radioaktiv maddənin aktivliyinin azalmasını göstərir).

Kifayət qədər kiçik zaman intervalı üçün $\Delta t \approx dt$ qəbul etmək mümkün olduğundan, (2.1) və (2.2) ifadələrinin müqayisəsindən

$$dN = -\lambda N dt \quad (2.3)$$

alınar.

Bu ifadəni inteqrallamaqla isə

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (2.4)$$

şəklində düstur almış olarıq.

Burada N_0 – $t=0$ anında, N_t isə t anındakı radioaktiv atomların sayıdır.

(2.4) ifadəsi ilə müəyyən olunan qanun radioaktiv parçalanma qanunu adlanır. Bu ifadənin hər tərəfini λ - ya vurmaqla,

$$\lambda N_t = \lambda N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (2.5)$$

almaq olar.

$A_t = -\lambda \cdot N$ olduğunu nəzərə alaraq, sonuncu ifadəni

$$A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (2.6)$$

şəklində yazmaq olar.

Burada $A_0 = \lambda N_0$ – nümunənin başlanğıc, $A_t = \lambda N_t$ isə onun t anındakı aktivlikləridir.

Inteqrallama əməliyyatı aparmaqla, (2.6) ifadəsini

$$\ln A_t = \ln A_0 - \lambda t \quad (2.7)$$

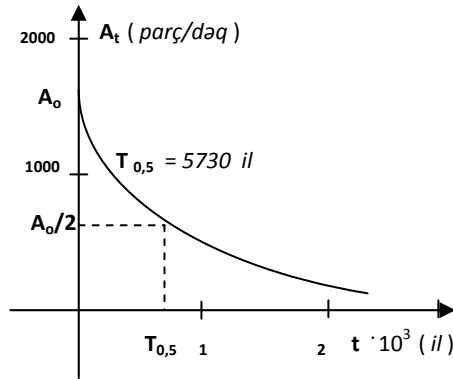
şəklinə salmaq olar.

İndi də radioaktiv elementin aktivliyinin zamandan asılılığını əks etdirən konkret nümunələrə nəzər salaq.

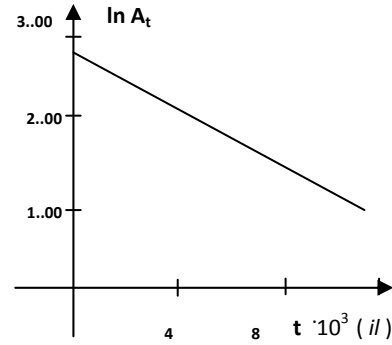
Şəkil 2.3 - də C^{14} izotopunun aktivliyinin (2.6) ifadəsinə uyğun dəyişməsinə əks etdirən qrafik təsvir edilmişdir. Bu dəyişmənin (2.7) ifadəsinə uyğun loqarifmik təsviri isə şəkil 2.4 - də göstərilmişdir.

Radioaktiv elementlərin parçalanma sürəti yarımparçalanma periodu adlanan parametrlə xarakterizə olunur. Bu parametr $T_{0,5}$ kimi işarə olunur.

Dayanıqsız nüvələrin ilkin sayının yarısının parçalanması müddəti yarımparçalanma periodu adlanır və $T_{0,5}$ ilə işarə olunur.



2.3. C^{14} izotopunun aktivliyinin dəyişməsi



Şəkil 2.4. C^{14} izotopunun aktivliyinin loqarifmik dəyişməsi

Yarımparçalanma periodu

$$\frac{1}{2} N_0 = N_0 \exp(-\lambda T_{0,5}) \quad (2.8)$$

şərtindən tapılır.

Bu ifadədən yarımparçalanma periodu üçün

$$T_{0,5} = \frac{\ln 2}{\lambda} \approx \frac{0.693}{\lambda} \quad (2.9) \quad \text{alınır.}$$

Bu günə qədər məlum olan radioaktiv nüvələrin yarımparçalanma periodları $3 \cdot 10^7$ san - dən $5 \cdot 10^{15}$ il - ə qədər intervalda dəyişir.

Şəkil 2.4 - dən loqarifmik dəyişməyə uyğun gələn düz xəttin mailliyini tapmaq olar ki, bu da, aydındır ki, (2.7) ifadəsinə əsasən λ -ya bərabər olacaq.

C^{14} izotopu üçün həmin qrafikdən

$$\lambda \approx 1.8 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{il}} \quad \text{alınar.}$$

Çoxlu sayda parçalanan nüvələr üçün orta yaşama müddəti (τ) adlanan kəmiyyət müəyyən edilib. Bu kəmiyyət bütün nüvələrin yaşama müddətlərinin cəmi kimi təyin edilir.

Əgər t müddətindən sonra

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

qədər nüvə parçalanmamış qalırsa və t - dən $t + dt$ -yə qədər zaman intervalında

$$dN(t) = -N_0 \lambda e^{-\lambda t} dt$$

qədər nüvə parçalanmaya məruz qalırsa, onda t müddətində yekun yaşama müddəti

$$t \lambda N_0 e^{-\lambda t} \cdot dt \text{ olar.}$$

Bu ifadəni bütün t müddətləri üçün inteqrallamaqla isə tam yaşama müddəti üçün

$$\tau = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t \lambda N_0 e^{-\lambda t} dt = \int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt \quad (2.10)$$

şəklində ifadə almış olarıq.

$$\text{Buradan isə} \quad \tau = \frac{1}{\lambda} \quad (2.11) \text{ alınar.}$$

Belə məlum olur ki, orta yaşama müddəti parçalanma sabitinin tərs qiymətinə bərabərdir.

(2.11) və (2.9) ifadələrinin müqayisəsindən yarımparçalanma periodu üçün

$$T_{0.5} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \ln 2 \cdot \tau \quad (2.12)$$

ifadəsini almış olarıq.

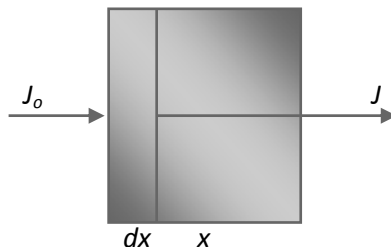
Deməli, nüvələrin yarımparçalanma periodu onların orta yaşama müddətlərindən $\ln 2$ -yə bərabər olan ədədi əmsalla fərqlənir.

Aydındır ki, γ - şüaların hər hansı mühitə (maddəyə) nüfuz etməsi onların tək sürətinin deyil, həm də intensivliyinin azalmasına səbəb olur. Mühitlə γ - şüaların bu formada qarşılıqlı təsiri udulma adlanır. Bu halda γ - şüaların udulması Buqer qanunu ilə təsvir olunur ki, bu qanuna əsasən də şüanın zəifləməsi onun intensivliyi və şüanı udan maddənin konsentrasiyası ilə düz mütənasib olur (Мухин К.Н., 1982; Кольчужкин А.М., Учайкин О.В., 1978).

Bərk cismin müstəvi səthinə γ - şüaların perpendikulyar düşməsi halında nazik dx təbəqəsində intensivliyin dj azalması

$$dj = -\varepsilon \cdot s \cdot j \cdot dx$$

kimi təyin olunur (şəkil 2.5).



Şəkil 2.5. Buqer qanununun təsviri (J_0 – düşən, J – isə mühitə daxil olan şüaların intensivliyidir).

İntensivliyin azalmasına uyğun ifadəni inteqrallamaqla, Buqer qanununu

$$J = j_0 e^{-\varepsilon s x} \text{ şəklində almış olarıq.}$$

Elmi ədəbiyyatda bu ifadənin $\lg\left(\frac{j}{j_0}\right) = -0.4343 \varepsilon \cdot s \cdot x = D$

şəklində loqarifmik formasından da istifadə olunur.

Burada ε – molyar ekstinksiya əmsalı, s – uducu mühitin konsentrasiyası, x – uducu mühitin qalınlığı, j_0 – düşən, j – isə keçən şüaların intensivliyidir. İfadəyə daxil olan $\varepsilon s x$ hasili çox vaxt mühitin optik sıxlığı adlandırılır

2.6. Radioaktiv parçalanma sıraları

Radioaktivlik hadisəsinin mahiyyətinin öyrənilməsi göstərdi ki, bu prosesdə bir element parçalanmaqla, başqa elementə çevrilir. Əgər yaranan element də radioaktiv olarsa, o da, öz növbəsində parçalanmaqla, üçüncü elementə çevrilir və bu proses radioaktiv olmayan element alınana qədər davam edir. Yaranan bu cür elementlər sırası radioaktiv sıra adlanır.

Dediklərimizə misal olaraq, **radiumun çevrilmə sırasını** göstərmək olar. Məlum olduğu kimi, radiumun parçalanması zamanı radioaktiv **radon** yaranır ki, o da, öz növbəsində parçalanmaqla, **radium - A** yaradır. Radioaktiv olan bu element də parçalanaraq, bir-birinin ardınca **radium - B**, **radium - C** və s. kimi yeni radioaktiv elementlər yaradır. Son nəticədə kimyəvi xassələrinə görə adı qurğuşundan seçilməyən dayanıqlı **radium – G** elementi yaranır.

Yaranan elementlərin atom kütlələri (elementin işarəsini üstündə yuxarıda yazılmış rəqəmlər) və yarımparçalanma periodları (şəkilin solunda və sağında yazılmış rəqəmlər) və şüalanmanın növü (oxların üzərindəki işarələr) göstərilməklə, **radiumun** ardıcıl parçalanma sxemi şəkil 2.6 - də təsvir edilmişdir.

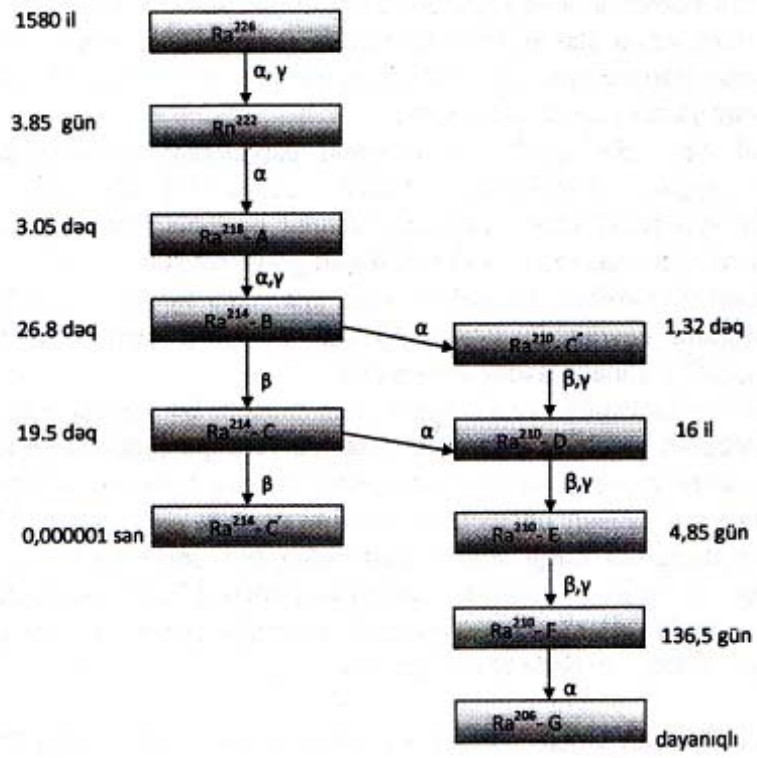
Radiumdan başqa, uran, torium və aktinium elementləri də oxşar formada parçalanmaya məruz qalırlar. Adı çəkilən çevrilmələrin öyrənilməsi göstərdi ki, radiumun özü uranın uzun parçalanma məhsulları zəncirinin aralıq həlqəsini təşkil edir. Bu prosesi təsvir edən sxem (uranın radiuma çevrilmə sxemi) şəkil 2.7- də göstərilmişdir.

Hal-hazırkı dövrdə təbii radioaktiv elementlərin 3 sırası məlumdur ki, bu sıraların başlanğıcında uran, torium və aktinium elementləri durur. Hər üç sırada son parçalanma məhsulu qurğuşun elementidir.

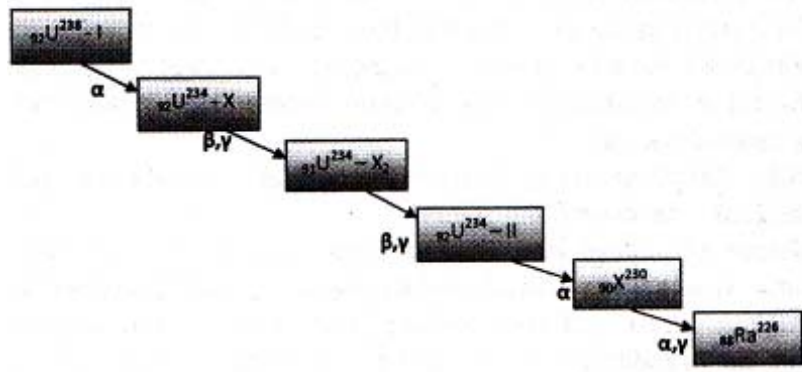
Son illər süni radioaktiv elementlərə aid olan dördüncü radioaktiv sıra da müəyyən edilmişdir. Bu sıra süni yolla alınan neptuniumda başlayır və bismutda qurtarır.

İndi də ayrı-ayrılıqda bu sıraların bəzi detalları üzərində dayanaq.

2.6.1. Uran (uran-radium) sırası. Radioaktiv izotopların α -, β -, γ - şüalanmalara məruz qalmaqla parçalanması nəticəsində yaranan yeni nüvələrin özləri də, artıq qeyd etdiyimiz kimi, dayanıqsız ola bilərlər ki, bunlar da, öz növbəsində parçalanmaqla, son nəticədə stabil nüvələrə çevrilirlər.



Şəkil 2.6. Radiumun parçalanma sxemi.



Şəkil 2.7. Uranın radiuma çevirmə sxemi.

Bu cür çoxpilləli nüvə keçidlərinə uyğun parçalanma zənciri bəzi hallarda çox uzun olur. Buna misal olaraq, uran və torium radionuklidlərinin α - parçalanmasını göstərmək olar. Parçalanma "qız" elementlər zəncirini yaradır və hər iki proses stabil *Pb* izotopunun yaranması ilə nəticələnir.

Şəkil 2.8 - də ${}_{92}\text{U}^{238}$ izotopunun parçalanma sırasının çoxpilləli nüvə keçidlərinə uyğun parçalanma zənciri, cədvəl 2.1 -də isə uran sırası radionuklidlərinin tarixi adları, yarımparçalanma periodları və şüalanma enerjiləri (intensivlikləri) kimi əsas fiziki xarakteristikaları göstərilmişdir

Cədvəl və şəkildən görüldüyü kimi, ${}_{92}\text{U}^{238}$ izotopu α - parçalanma yolu ilə ${}_{90}\text{Th}^{234}$ izotopuna çevrilir. Bu proses növbəti α - və β -çevrilmələr yolu ilə stabil qurğuşun (${}_{82}\text{Pb}^{208}$) alınana qədər davam edir.

Cədvəlin təhlilindən aydın olur ki, uran sırasının bir yox, bir neçə uzun yaşama müddətli izotopları vardır ki, onların da arasında yarımparçalanma periodu 1600 il -ə bərabər, α - aktiv *Ra* izotopu öz xüsusiyyətlərinə görə daha çox fərqlənir. Məhz bu səbəbdən də uran sırasını bəzən uran - radium sırası da adlandırırlar.

Ra izotopunun fərqli xüsusiyyətlərindən biri onun güclü γ - şüalandırıcı olmasıdır. *Ra* və onun nisbətən kiçik yaşama müddətli "qız" elementləri tarazlıqda olaraq, çoxlu sayda xətlərdən təşkil olunmuş γ - spektr yaradır. Bu zaman ən intensiv xəttin enerjisi 1MeV - in onda biri qədər olur

2.6.2. Torium sırası. Toriumun parçalanma sırası şəkil 2.9 - də təsvir edilmişdir. Cədvəl 2.2 -də isə torium sırası radionuklidlərinin əsas fiziki xarakteristikaları göstərilmişdir.

Cədvəl və şəkildən görüldüyü kimi, sıranın başında dayanan torium - 232 izotopu α - parçalanma yolu ilə radium - 228 izotopuna çevrilir. Bu proses də növbəti α - və β - çevrilmələrlə stabil qurğuşun (${}_{82}\text{Pb}^{208}$) alınana qədər davam edir.

Torium sırasının mezotorium I və radiotorium kimi nisbətən uzun yaşama müddətli iki izotopu vardır ki, bunlardan birincisi 0,055 Mev enerjili β - radioaktiv xassəyə, ikincisi isə 5.4 Mev enerjili α - radioaktivi və 0.2 Mev γ - radioaktiv xassəyə malikdir. Bu sıranın xarakterik xüsusiyyəti onun nisbətən kiçik yaşama müddətli aralıq məhsullara malik olmasıdır.

2.6.3. Aktinium sırası. Aktinium elementinin parçalanma sırası sxematik olaraq, şəkil 2.10 - da təsvir edilmişdir.

Şəkildən görüldüyü kimi, uran və torium sıraları kimi, aktinium elementinin də parçalanma sırasının son məhsulu stabil qurğuşun (${}_{82}\text{Pb}^{208}$) elementidir.

Aktinium sırası radionuklidlərinin əsas fiziki xarakteristikaları üzərində dayanmadan bu mürəkkəb prosesin aralıq məhsullarına nəzər salsaq, görərik ki, aktinium (aktinouran) α - parçalanmaya məruz qalmaqla, urana çevrilir və sonradan növbəti α - və β - çevrilmələrlə proaktinium, radioaktinium, aktinium A, aktinium B, aktinium C, aktinium C', aktinium C'', aktinium X, aktinon kimi "qız" elementlər zəncirini yaradır və bu proses stabil *Pb* izotopunun yaranması ilə nəticələnir.

Cədvəl 2.1.
Uran-radium sırası radionuklidlərinin əsas fiziki xarakteristikası.

Nuklid	Tarixi adı	Yarımparçalanma periodu	Əsas şüalanma enerjisi, MeV (intensivlik, %)		
			α	β	γ
$^{238}_{92}\text{U}$	Uran I	$4.51 \cdot 10^9$ il	4.15(25)	–	–
$^{234}_{90}\text{Th}$	Uran x ₁	24.1 sut.	–	0.103(21)	0.063(3.5)
$^{234m}_{91}\text{Pa}$	Uran x ₂	1.17 dəq.	–	2.29(98)	0.765(0.30) 1.001(0.60)
$^{234}_{91}\text{Pa}$ 99.87% β ↓ $^{234m}_{91}\text{Pa}$ β ↓ $^{234}_{92}\text{U}$ 0.3% α ↓ $^{234}_{92}\text{U}$	Uran Z	6.75 saat	–	1.13(13) 0.53(66)	0.100(50) 0.70(24)
$^{234}_{92}\text{U}$	Uran II	$2.47 \cdot 10^5$ il	4.72(28) 4.77(72)	–	0.053(0.2)
$^{230}_{90}\text{Th}$	İonium	$8.0 \cdot 10^4$ il	4.62(24) 4.68(76)	–	0.068(0.6) 0.142(0.07)
$^{226}_{88}\text{Ra}$	Radium	1602 il	4.60(6) 4.78(95)	–	0.168(4)
$^{222}_{86}\text{Rn}$	Radon (Rn)	3.823 sut.	5.49(100)	–	0.510(0.07)
$^{218}_{84}\text{Po}$ 99.98% α ↓ $^{214}_{82}\text{Pb}$ 0.02% β ↓ $^{218}_{85}\text{At}$	Radium A	3.05 dəq.	6.00(~100)	0.33(~0.019)	–
$^{214}_{82}\text{Pb}$	Radium B	26.8 dəq.	–	0.65(50) 0.71(40) 0.98(6)	0.242(4) 0.295(19) 0.352(36)
$^{218}_{85}\text{At}$ β ↓ $^{214}_{83}\text{Bi}$ α ↓ $^{214}_{82}\text{Pb}$	Astat	~2 san.	6.65(6)	? (~0.1)	–
$^{214}_{83}\text{Bi}$ 99.98% β ↓ $^{214}_{84}\text{Po}$ 0.02% α ↓ $^{218}_{81}\text{Tl}$	Radium C	19.9 dəq.	5.45(0.012) 5.51(0.008)	1.0(23) 1.51(40) 3.26(19)	0.609(47) 0.769(5) 1.120(17) 1.238(6) 1.378(5) 1.764(17) 2.445(2)
$^{214}_{84}\text{Po}$	Radium C'	164 mksan.	7.69(100)	–	0.799(0.014)
$^{214}_{82}\text{Pb}$ α ↓ $^{210}_{82}\text{Pb}$ β ↓ $^{214}_{83}\text{Bi}$ α ↓ $^{210}_{81}\text{Tl}$	Radium C''	1.3 dəq.	–	1.3(25) 1.9(56) 2.3(19)	0.296(80) 0.795(100) 1.31(21)
$^{210}_{82}\text{Pb}$	Radium D	20.4 il	3.72(0.00002)	0.010(85) 0.061(15)	0.047(4)
$^{210}_{83}\text{Bi}$ 100% α ↓ $^{210}_{84}\text{Po}$ 0.0013% β ↓ $^{210}_{81}\text{Tl}$	Radium E	5.01 sut.	4.65(0.0007) 4.69(0.0005)	1.161(~100)	–
$^{210}_{84}\text{Po}$	Radium F	138.4 sut.	5.305(100)	–	0.803(0.001)
$^{210}_{81}\text{Tl}$ α ↓ $^{206}_{81}\text{Tl}$ β ↓ $^{210}_{82}\text{Pb}$	Radium E'	4.19 dəq.	–	1.571(100)	–
$^{206}_{82}\text{Pb}$	Radium G	stabil	–	–	–

3.1. Bəzi radiobioloji anlayışlar və onların vahidləri

3.1.1. Aktivlik. Radioaktiv elementlərin xarakterik xüsusiyyəti onların parçalanmaya məruz qalmasıdır. Bu halda radioaktiv nümunələrdə bir saniyədə baş verən parçalanmaların sayı həmin nümunənin aktivliyini müəyyən edir.

BS-də aktivlik vahidi olaraq, 1 saniyədə bir radioaktiv parçalanma yarada bilən maddənin aktivliyi qəbul olunub. Bu vahid radioaktivlik hadisəsini kəşf edən fransız fiziki Anri Bekkerelin şərəfinə *1 Bekkerel (Bk)* adlanır.

Deməli,

$$1 Bk = 1 \frac{\text{parçalanma}}{\text{san}} - \text{dir.}$$

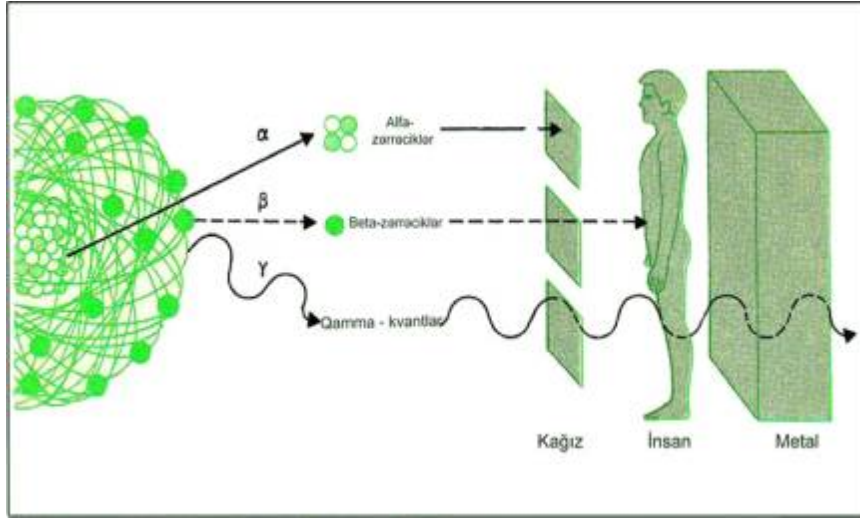
Elementin aktivliyinin sistemdən kənar vahidi Mariya Kürinin şərəfinə *1 Küri (Ku)* adlanır. Məlum olduğu kimi, M.Küri *radium* elementini kəşf etmiş və onu ayırmağa müyəssər olmuşdur. Buna əsaslanaraq, *1q* radiumun yaratdığı radioaktivlik *1Ku* qəbul olunub.

Müəyyən edilmişdir ki,

$$1Ku = 3.7 \cdot 10^{10} \frac{\text{parçalanma}}{\text{san}} = 3.7 \cdot 10^{10} Bk - \text{dir.}$$

3.1.2. Şüalanmanın udulma dozası. Radioaktivliyin öyrənilməsi atomun daxilində külli miqdarda enerjinin toplandığını göstərdi və aydın oldu ki, bu enerji elementin parçalanması nəticəsində şüalar vasitəsilə ətrafa verilir. Həqiqətən də, 1903-cü ildə Pyer Küri öz əməkdaşları ilə birlikdə həssas kalorimetrimin köməyi ilə müəyyən etdi ki, *1q* radium-226 izotopunun *1saat* ərzində parçalanması *590 C* enerji ayrılmasına səbəb olur. Asanlıqla hesablamaq olar ki, həmin miqdarda radium - 226 izotopunun stabil qurğuşun alınana qədər (~ 20000 il ərzində) parçalanması nəticəsində $12.6 \cdot 10^{10} C$ enerji ayrılmalıdır. Qeyd edək ki, *1q* radium - 226 izotopunun stabil qurğuşun alınana qədər parçalanması nəticəsində ayrılan enerji *500 kq* daş kömürün yanması zamanı alınan enerjiyə bərabərdir. Bu səbəbdən də, istər radioaktiv parçalanma zamanı, istərsə də nüvə reaksiyalarında yaranan şüalar hər hansı maddədən keçərkən şüalanma enerjisinin həmin maddə tərəfindən udulması baş verir ki, bu da, son nəticədə maddədə müəyyən dəyişikliklərin yaranmasına səbəb olur.

Müxtəlif şüalanma növləri müxtəlif enerji ayrılmalarına və fərqli nüfuzetmə qabiliyyətinə malik olduqlarından onlar canlı orqanizmin toxumalarına eyni təsir göstərmirlər (şəkil 3.1).



Şəkil 3.1. Müxtəlif şüalanma növlərinin nüfuzetmə qabiliyyətlərinin təsviri

Məsələn, neytron və protonlardan təşkil olunmuş ağır zərrəciklər seli olan α - şüalanma kiçik nüfuzetmə qabiliyyətinə malik olduğundan adi kağız və rəq belə onlar üçün qeyri-şəffaf mühit olur. Bu şüalar dərinin ölü hüceyrələrdən ibarət üst təbəqəsindən keçə bilmədiyindən onlar canlı orqanizm üçün çox da təhlükəli olmur. α - şüalanma yaradan radioaktiv maddə yalnız açıq yara, qəbul olunan qida və ya udulan hava vasitəsilə orqanizmə daxil olan hallarda bu şüalar canlılar üçün real təhlükə rolunu oynayır.

Nisbətən böyük nüfuzetmə qabiliyyətinə malik β - şüalar canlı toxumalara $1-2\text{ sm}$ dərinliyə qədər nüfuz edərək, onlar üçün təhlükə yarada bilirlər.

300000 km/san - ə bərabər sürətlə hərəkət edən γ - şüaların nüfuzetmə qabiliyyəti isə çox böyükdür. Onların qarşısını yalnız qalın qurğuşun və beton plitə ilə kəsmək mümkündür.

Qeyd edək ki, şüaların zəifləmə dərəcəsini xarakterizə etmək üçün bəzən təbəqənin yarımzəiflətmə qalınlığı anlayışından istifadə edilir. Təyininə aydın olur ki, bu qalınlıqda şüaların intensivliyi 2 dəfə azalır. Məsələn, qurğuşun təbəqə üçün radiumun γ - şüalanmasının yarımzəiflətmə qalınlığı 13 mm - dir. Bu səbəbdən də, radioaktiv maddələrlə işləyən insanların mühafizəsində qurğuşun ekrandan istifadə edilir.

Aydındır ki, şüalanma o zaman canlı orqanizmdə böyük zədələnmələr yaradır ki, onun toxumalara verdiyi enerji böyük olsun.

Orqanizm şüalanma enerjisini radionuklidin yalnız orqanizm daxilində olması zamanı deyil, həm də ondan kənarında olması zamanı qəbul edə bilər. Bu zaman qəbul olunan şüalanma dozası, şüalanmaya məruz qalan hissənin ölçüləri, məskunlaşma yeri, şüalanmaya bir nəfərin, yoxsa bir qrup insanın məruz qalması və şüalanmanın təsir müddəti nəzərə alınmaqla, müxtəlif formada hesablanı bilər.

Aydındır ki, şüalanmanın təsiri ilə şüalanmaya məruz qalan obyektlərdə baş verən dəyişikliklər udulan enerjinin qiymətindən asılı olmalıdır. Bu halda şüalanmanın maddələrə (canlı orqanizmlərə) təsir dərəcəsinin düzgün xarakteristikası kimi şüalanmanın udulma enerjisindən istifadə etmək daha düzgün hesab olunub. Bu məqsədlə də radiasiya dozimetriyasında şüalanmanın orqanizmə verdiyi enerjinin miqdarını "doza", daha dəqiq desək, "şüalanmanın udulma dozası" adlandırmaq qəbul olunmuşdur.

Şüalanmanın udulma dozası D_{ud} ilə işarə olunur və vahid kütlə tərəfindən udulan şüalanma enerjisinə bərabər kəmiyyət kimi təyin olunur.

Deyənlərdən aydın olur ki,

$$D_{ud} = \frac{W}{m} \text{ olmalıdır.}$$

Burada W - udulan enerji, m - isə enerjini udan maddənin kütləsidir.

Udulma dozasının vahidi BS - də 1 Qr (1 Qr) adlanır. İfadədən göründüyü

kimi, $1 \text{ Qr} = 1 \frac{C}{kq}$ - dir.

Elmi ədəbiyyatda udulma dozasının sistemdən kənar 1 rad kimi vahidindən də geniş istifadə olunur (" rad " sözü ingiliscə " $radiation \text{ absorbed dose}$ ", yəni " $radiasiyanın udulma dozası$ " sözlərinin baş hərfləridir).

$1q$ kükləli maddənin 100 erq enerji udması halında şüalanmanın udulma dozası 1 rad hesab olunur, yəni

$$1 \text{ rad} = 100 \frac{\text{erq}}{q} = \frac{10^2 \cdot 10^{-7} C}{10^{-3} kq} = 10^{-2} \frac{C}{kq} = 10^{-2} \text{ Qr} \quad \text{və ya} \quad 1 \text{ Qr} = 10^2 \text{ rad.}$$

Şüalanmanın udulma dozasının gücü. Udulma dozasının şüaların udulma müddətinə nisbəti, və yaxud da vahid zamana hesablanan udulma dozası " $şüalanma dozasının gücü$ " adlanır və $P = \frac{D_{ud}}{t}$ kimi təyin olunur.

Şüalanma dozasının gücü $1 \frac{\text{Qr}}{\text{san}}$ və ya $1 \frac{\text{rad}}{\text{san}}$ vahidlərlə ölçülür.

3.1.3. Şüalanmanın ekspozisiya dozası. Müxtəlif şüalanma növlərinin mühitlərə daxil olması şüalanma zərrəciklərinin (kvantların) mühitin atom və molekulları ilə qarşılıqlı təsirdə olmasına səbəb olur. Bu isə, öz növbəsində, onların həyəcanlanmasına və yaxud da neytral atom və molekullardan elektronların qoparılmasına gətirib çıxarır.

Bir və ya bir neçə elektronun itirilməsi ilə baş verən ikinci proses, daha dəqiq desək, elektrik cəhətdən neytral olan atom və molekullardan elektron və müxtəlif işarəli ionların əmələ gəlməsi prosesi ionlaşma adlanır. Mühitlə qarşılıqlı təsir

nəticəsində ionlaşma yaradan şüalanmanın özü isə, prosesin adına uyğun olaraq, ionlaşdırıcı şüalanma adlanır. Əks halda şüalanma qeyri- ionlaşdırıcı olur.

İonlaşdırıcı şüalanma halında bir və ya bir neçə elektron itirmiş atom müsbət yüklü iona çevrilir ki, bununla da ilkin ionlaşma aktı baş verir.

İlkin ionlaşma zamanı yaranan elektronların özləri də, müəyyən qədər enerjiyə malik olduqlarından, qarşılıqlarına çıxan atomlarla toqquşaraq, yeni ionlar yarada bilər. Bu proses ikinci ionlaşma adlanır.

Çoxlu sayda toqquşmalardan sonra enerjilərini itirmiş həmin elektronlar sərbəst elektrona çevrilirlər və yaxud da hansısa neytral atomla birləşərək mənfi yüklü ionlar yaradırlar.

Qeyd edək ki, mühitdən şüaların keçməsi zamanı ionlaşdırıcı şüalanmanın enerjisi, əsasən, mühitin ionlaşmasına səbəb olur.

Göründüyü kimi, zərrəciklər seli və ya elektromaqnit dalğası olmasından asılı olmayaraq, müxtəlif şüalanmaların ionlaşdırıcı və ya qeyri-ionlaşdırıcı kimi növləri vardır. İonlaşdırıcı şüalanmaya misal olaraq, α -, β -, γ - şüalanmaları, neytronlar, protonlar, müxtəlif işarəli ionlar selini və s. göstərmək olar.

İonlaşdırıcı şüalanmanın da korpuskulyar və elektromaqnit təbiətli növləri vardır. Sifirdən fərqli sükunət kütləsinə malik elektronlar, protonlar, neytronlar və s. kimi bir çox zərrəciklər seli korpuskulyar növə, uzaq ultrabənövşəyi (*UB*), *rentgen* və γ -şüalara uyğun fotonlar seli isə elektromaqnit təbiətli növə aid edilir.

Korpuskulyar təbiətli şüalanmanı "*yüngül*" və "*ağır*" zərrəciklər seli kimi növlərə ayırırlar. Birinci növə elektronlar və pozitronlar seli, ikinci növə isə protonlar, neytronlar, deytronlar, α -zərrəciklər və s. kimi zərrəciklər seli aid edilir.

Bioloji obyektlər üçün şüalanma o vaxt ionlaşdırıcı olur ki, o, canlı orqanizmlərin təşkil olunduğu molekularda kimyəvi rabitələri qırmaqla, bioloji əhəmiyyətli dəyişikliklər əmələ gətirmək qabiliyyətinə malik olsun. Bir ionlaşma aktı üçün orta hesabla 34 eV enerji tələb olduğundan (*Усманов С.М.; 2001*), ionlaşma qabiliyyətinə malik şüalanmanın minimal tezliyi üçün

$$\nu_{\min} = \frac{E}{h} = \frac{34 \cdot 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{1.055 \cdot 10^{-34} \text{ C} \cdot \text{san}} = 5 \cdot 10^{16} \text{ Hz}$$

qiymətini almış olarıq (hesablama zamanı 1 eV = 1.602 · 10⁻¹⁹ C olması nəzərə alınmışdır).

Tezliyin bu qiyməti isə, məlum olduğu kimi, elektromaqnit dalğaları spektrinin uzaq *UB* oblastına düşür. Belə məlum olur ki, ionlaşdırıcı şüalanmaya uzaq *UB*, *rentgen* və γ - şüalar aid edilə bilər.

Aydındır ki, ionlaşdırıcı şüalanmanın tezliyi nə qədər böyük olarsa, onların daşdığı enerji də o qədər böyük olar və bu halda şüalar düşdüyü səthin daha dərin qatlarına nüfuz edə bilər.

Düzdür, radiodalğalar, infraqırmızı şüalar, görünən işıq ionlaşma yolu ilə orqanizmin zədələnməsini yarada bilməsələr də, intensivliyi və təsir müddəti böyük olan hallarda bu şüalar da ciddi bioloji effektlər yarana bilər.

Qeyd edək ki, yüksək kinetik enerjiyə malik olan elektronlar, pozitronlar, neytronlar, protonlar kimi elementar zərrəciklərin təsiri də canlı orqanizmin molekullarının yüksək dərəcədə ionlaşmasını yarada bilər.

Uzaq UB , rentgen və qamma şüalanmanın ionlaşdırıcı təsirini xarakterizə etmək üçün şüalanmanın ekspozisiya dozası anlayışından istifadə olunur. Havanı ionlaşdırma qabiliyyətinə əsasən təyin olunan bu parametrin ədədi qiyməti şüalanma müddəti ərzində havada yaranan eyni işarəli ionların ümumi elektrik yükünün təyini əsasında müəyyənləşdirilir. Bu zaman hesab edilir ki, əgər ölçmə zamanı V həcmli havada şüalanmanın təsiri ilə N sayda ion cütü əmələ gəlmişsə (aydındır ki, bu say, həm də eyni işarəli ionların sayıdır), onda ekspozisiya dozası

$$D_{\text{eksp.}} = \frac{N \cdot W}{m} \text{ kimi təyin olunacaq.}$$

Burada m – V həcmli havanın kütləsi, W – bir ion cütünün əmələ gəlməsinə sərf olunan enerjidir ki, bu da, artıq qeyd etdiyimiz kimi, 34 eV - a bərabərdir.

Ekspozisiya dozası üçün alınan ifadəni

$$D_{\text{eksp.}} = \frac{q}{m}$$

şəkilində də yazmaq mümkündür.

Burada q – m kütləli havada yaranan eyni işarəli ionların ümumi elektrik yüküdür.

Ekspozisiya dozasının BS - də vahidi, ifadədən göründüyü kimi, $1 \frac{Kl}{kq}$

olmalıdır.

$1 \frac{Kl}{kq}$ - a bərabər ekspozisiya dozası elə dozadır ki, həmin doza $1kq$ kütləli hava

molekullarını ionlaşdırmaqla, hər işarəli ionların hesabına $1Kl$ elektrik yükü yarada bilsin. Bu zaman hesab olunur ki, ionlaşma prosesi quru atmosfer havasında normal şəraitdə ($0^\circ C$ temperatur və 101300 Pa və ya 760 mm.c.s. təzyiqdə) baş verir.

Praktikada çox vaxt ekspozisiya dozasının 1 Rentgen (R) kimi vahidindən də istifadə edilir.

$1R$ elə şüalanma dozasıdır ki, bu doza ionlaşma prosesində $0^\circ C$ temperaturda və normal atmosfer təzyiqində hər $1sm^3$ havada $2.079 \cdot 10^9$ sayda ion cütü yaratmış olsun.

$0^\circ C$ temperaturda və 760 mm.c.s. təzyiqində $1sm^3$ quru atmosfer havasının kütləsinin 0.001293 q olduğunu nəzərə alsaq, onda ekspozisiya dozasının hər iki vahidi arasında aşağıdakı formada əlaqə tapmış olarıq:

$$1R = 2.079 \cdot 10^9 \frac{\text{ion}}{sm^3} = \frac{2.079 \cdot 10^9 \cdot 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}}{0.001293 \cdot 10^{-3}} \frac{Kl}{kq} = 2.576 \cdot 10^{-4} \frac{Kl}{kq}.$$

(hesablamada ionun yükünün $q_i = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$ olması, yəni onun birqat ionlaşmış olması qəbul olunmuşdur).

Praktikada $1R$ - nin mində və milyonda bir hissəsindən də istifadə olunur. Bu vahidlər, uyğun olaraq, $1mR$ və $1mkR$ kimi işarə olunur.

İonlaşdırıcı şüalanmanın ekspozisiya və udulma dozaları arasında $D_{\text{eksp.}}=K \cdot D_{\text{ud}}$ şəklində xətti asılılığın olması müəyyən edilmişdir.

Burada $K=34 \frac{\text{kl}}{\text{C}}$ -a və ya $K=0.876 \frac{\text{R}}{\text{rad}}$ -a bərabər mütənəsiblik əmsəlidir.

Şüalanmanın ekspozisiya dozasının gücü. Qeyd edək ki, müəyyən ərazidə radiasiya şəraiti radioaktiv mənbəyin aktivliyi ilə yanaşı, həm də şüalanmanın ekspozisiya dozasının gücü adlanan parametrin ölçülməsi əsasında müəyyənləşdirilir.

Ekspozisiya dozasının gücü vahid zamanda (1 san-də, 1 saat-da, 1 sutka-da, 1 il-də və s.) ekspozisiya dozasını müəyyən edir və $\frac{\text{R}}{\text{san}}$, $\frac{\text{R}}{\text{saat}}$ ($\frac{\text{mR}}{\text{saat}}$, $\frac{\text{mkR}}{\text{saat}}$) - lərlə ölçülür.

BS-də ekspozisiya dozasının gücü $1 \frac{\text{A}}{\text{kq}}$ (kiloqramda ampər) - lərlə ölçülür.

Asanlıqla hesablamaq olar ki, $1 \frac{\text{R}}{\text{san}} = 0,258 \frac{\text{mA}}{\text{kq}}$ - dir.

3.1.4. Ekvivalent doza. İnsan orqanizmini öz quruluşuna görə molekulyar (makromolekullar da daxil olmaqla), hüceyrə, toxuma və orqanlar kimi dörd müxtəlif səviyyəyə ayırmaq mümkündür. İonlaşdırıcı şüalanmanın təsiri insan orqanizmində adı çəkilən müxtəlif səviyyələrdə bir sıra dönməz və dönməz proseslər zəncirini yaradır. Artıq qeyd etdiyimiz kimi, orqanizmi təşkil edən molekulların həyəcanlanması, ionlaşması və dissosiasiyası bu proseslər zəncirinin ilkin həlqəsini təşkil edir ki, bunlar da öz növbəsində növbəti proseslərin yaranmasının əsasını qoyur.

Məlumdur ki, suyun radiolizi biokimyəvi proseslərdə mühüm rol oynayır. İnsan bədəninin $\frac{2}{3}$ hissəsindən çoxunun sudan ibarət olması isə radioaktiv şüalanmanın təsiri ilə su molekullarının parçalanaraq, OH , HO_2 , H_2O_2 və s. kimi kimyəvi aktiv birləşmələrin – radikalların yaranmasına səbəb olur. Sərbəst radikalların induksiya etdiyi kimyəvi reaksiyaların yaratdığı məhsullar isə, öz növbəsində, radiasiya ilə birbaşa təmasda olmayan çoxlu sayda digər molekulların biokimyəvi proseslərə cəlb olunmasına zəmin yaradır.

Hüceyrə səviyyəsində radiasiyanın törədə biləcəyi prosesləri nəzərdən keçirsək, görürük ki, əgər ionlaşdırıcı şüalanmanın təsiri hüceyrənin zədələnməsinə səbəb olarsa, bu proses üç müxtəlif sonluqla nəticələnə bilər. Birincisi, hüceyrədə bərpaedici proseslər onun zədələnməsini aradan qaldıra bilər və hüceyrənin funksiyaları yenidən tamamilə bərpa oluna bilər. İkincisi, hüceyrə tam bərpa oluna bilməsə də, o, zədələnmiş halda belə, həyat fəaliyyətli qala bilər. Üçüncüsü, hüceyrə tamamilə məhv ola bilər.

Qeyd edək ki, hətta bərpa oluna bilməyən dərəcədə hüceyrə itirmiş orqan və toxumalar əhəmiyyətli zərərə məruz qalmırlar. Belə ki, yalnız məhv olmuş hüceyrələrin sayı kifayət qədər çox olan hallarda bu itki toxumanın funksiyasının itməsinə səbəb olur.

Nisbətən kiçik şüalanma hallarında toxumaların funksiyalarının itməsi ilə nəticələnmə ehtimalı sıfıra yaxın olur. Yüksək şüalanma hallarında isə, daha dəqiq

desək, şüalanmanın müəyyən limit (astana) qiymətindən böyük qiymətlərdə zərərvermə ehtimalı kəskin artır və bəzi hallarda hətta 100% - ə çatır. Müəyyən edilmişdir ki, orqanizmin zədələnmə dərəcəsi şüalanma dozasının gücündən əhəmiyyətli dərəcədə asılı olur və doza artdıqca, qeyri-xətti qanunla artır.

Müxtəlif orqan və toxumaların funksiyalarının itməsi ilə nəticələnən radiasiya effektləri *somatik* (yunan sözü “*soma - cisim*” sözündəndir) *effektlər* adlanır. Bu effektlərə, həm də *determinə effektləri* deyilir.

Ola bilər ki, şüalanma nəticəsində hüceyrə məhv olmasın, yalnız hansısa dəyişikliyə məruz qalsın, onda müəyyən ləngimədən sonra (həmin müddət *letal period* adlanır) çoxlu sayda *zədələnmiş hüceyrələr*, yəni *bədxassəli törəmələr – xərçəng* əmələ gələ bilər.

Böyük ehtimalla bu prosesin limit (astana) qiyməti yoxdur və determinə effektlərinin limit (astana) qiymətlərindən xeyli kiçik doza intervalında bədxassəli törəmələrin yaranma ehtimalı dozaya təxminən mütənasib olur.

Bu formada təsvir olunan limitsiz (astanasız) effektlər *stoxastik effektlər* adlanır ki, bu da onların statistik xarakterli olmasını göstərir .

Funksiyası genetik informasiyanı sonrakı nəsillərə ötürmək olan hüceyrənin zədələnməsi halında radiasiya effektləri müxtəlif ağırlıq dərəcələri ilə şüalanmış şəxsin övladlarında da özünü biruzə verir. Bu formada stoxastik effektlər *genetik effektlər* adlanır. Genetik effektlər bir neçə (ən azı iki) nəsildə statistik dəyişmələrin təhlili əsasında müşahidə oluna bilər.

Qeyd olunan formada radiasiya effektlərinin yaranma ehtimalı və doza arasında asılılıq “doza - effekt asılılığı” adlanır. Stoxastik effektlər üçün bu asılılıq məhdud doza intervalında xətti asılılıq kimi aproksimasiya oluna bilər. Bu halda orta doza sonrakı stoxastik effektlərin ehtimalına uyğun göstərici hesab oluna bilər.

Somatik (determinə) effektlər üçün doza - effekt asılılığı qeyri - xətti olur (*Иванов В.И., 1978*).

Stoxastik effektlərin yaranma ehtimalı udulma dozasından başqa, həm də şüalanmanın növündən və enerjisindən asılı olur. Buna görə də şüalanmanın təsirini kifayət qədər dolğun (düzgün) xarakterizə etmək üçün bir sıra əlavə anlayışlara ehtiyac vardır. Bunların bəziləri ilə tanış olaq.

Xətti enerji ötürülməsi (XEÖ). İonlaşdırıcı şüalanmanın bioloji təsiri yalnız udulan enerjinin miqdarından deyil, həm də əhəmiyyətli dərəcədə udulan enerjinin fəza paylanması xarakterindən asılı olur. Belə ki, korpuskulyar şüalanma maddədən keçərkən elə trayektoriya üzrə hərəkət edir ki, onun xarakterini zərrəciyin kütlə və enerjisi müəyyən edir. Adətən yüksək enerjili zərrəciklərin trayektoriyasının başlanğıc hissəsi düzxətli olur. Sonradan enerji itkisi nəticəsində o, ziqzaq şəkilli əyri ilə əvəz olunur.

Aydın ki, qaçış yolunun vahid uzunluğuna düşən enerji itkisinin miqdarı, yəni xətti enerji ötürülməsi zərrəciyin kinetik enerjisinə tərs mütənasib olmalıdır. Deməli, ionlaşdırıcı şüalanma zərrəciyinin enerjisinin daha çox hissəsi ətraf atomlara hərəkət trayektoriyasının son hissəsində (şüalanma enerjisinin azaldığı hissədə) verilməlidir.

Buna görə də ionlaşma sıxlığı izin sonunda daha böyük olur.

$XE\ddot{O}$ - nin vahidi olaraq, zərrəciyin maddə daxilində 1 mikrometr (mkm) yolda 1 keV enerji itirməsi qəbul olunmuşdur – $1 \frac{keV}{mkm}$.

Eyni sürətə malik zərrəciklər üçün ionlaşma dərəcəsi zərrəciklərin yüklərinin kvadratı ilə mütənasib olur. Eyni enerji halında isə ionlaşma sıxlığı kütləsi böyük olan zərrəcik üçün böyük olur.

Bu baxımdan ionlaşdırıcı şüalanmanı seyrək ionlaşdırıcı və sıx ionlaşdırıcı kimi növlərə ayırırlar ki, bunların da sərhədləri arasında $XE\ddot{O}$ – nin qiyməti, şərti olaraq, $100 \frac{keV}{mkm}$ qəbul olunmuşdur. Məsələn, Co^{60} izotopunun 1,2 – 1,3 MeV enerjili γ - şüalanması üçün $XE\ddot{O}$ - nin qiyməti $0,3 \frac{keV}{mkm}$, 250 keV enerjili rentgen şüalanması üçün $2 \frac{keV}{mkm}$, 14 MeV enerjili neytron şüalanması üçün $12 \frac{keV}{mkm}$, radionuklidlərin α - şüalanması üçün isə $100 \frac{keV}{mkm}$ - dir.

Bioloji toxumalara Ra^{226} izotopunun 4,8 MeV enerjili α -şüalanması 40 mkm - ə qədər, 2 - 5 MeV enerjili β - şüalanma 1 - 2,5 sm - ə qədər, 14 MeV enerjili neytronlar isə 10 sm - ə qədər nüfuz edə bilir. γ - şüalanma insan bədənindən keçərkən, demək olar ki, enerjisinin yarısını itirir.

Dediklərimizdən aydın olur ki, $XE\ddot{O}$, prinsipcə, maddəyə daxil olan zərrəciyin izi boyu əmələ gələn ionların sıxlığını müəyyən edir. Aydındır ki, hərəkət trayektoriyasının vahid uzunluğunda yaranan ion cütünün sayı nə qədər çox olarsa, eyni udulma dozasında radiasiya zədələnmələrinin sayı da o qədər çox olar.

Yüksək sıxlıqlı ionlaşma yarada bilən ağır yüklü zərrəciklərin geniş enerji diapazonunda $XE\ddot{O}$ parametrinin qiyməti kiçik ionlaşma sıxlığı ilə xarakterizə olunan elektron və fotonların uyğun parametrinin qiymətindən əhəmiyyətli dərəcədə yüksək olur. Məsələn, $10^{-2} - 10$ MeV enerji diapazonunda protonların $XE\ddot{O}$ parametrinin qiyməti elektronlarla müqayisədə 1-2 tərtib yüksək olur (*Барсуков О.А., Барсуков К.А., 2003*).

Nisbi bioloji effektivlik (NBE). Eyni udulma dozasında sıx ionlaşdırıcı şüalanma daha çox canlı hüceyrələrin şüa zədələnməsini yaratdığı üçün daha böyük bioloji təsirə malik olur. Bu baxımdan $XE\ddot{O}$ parametrinin fərqli qiymətləri ilə xarakterizə olunan müxtəlif ionlaşdırıcı şüalanma növlərinin bioloji təsirini müqayisə etmək üçün radiobiologiyada “*Nisbi bioloji effektivlik*” anlayışından istifadə edilir. Nisbi bioloji effektivlik dedikdə, müəyyən bir bioloji effekt yaradan standart şüalanmanın udulma dozasının (D_s) eyni bioloji effekt yarada bilən verilmiş şüalanmanın udulma dozasına (D_{ud}) nisbəti başa düşülür və $NBE = \frac{D_s}{D_{ud}}$ kimi

təyin edilir.

Şüalanmanın nisbi bioloji effektivliyinin miqdarı qiymətləndirilməsi üçün K_{NBE}

əmsalından istifadə edilir. Bu əmsal standart rentgen şüalanmasının (100 -250 keV) LD_{50} dozasının eyni şəraitlərdə eyni bioloji təsir yarada bilən verilmiş şüalanmanın LD_{50} dozasına nisbəti kimi təyin olunur (LD_{50} parametri şüalanmadan keçən 30 gün ərzində şüalanmış orqanizmlərin 50% ölümünə səbəb olan letal doza göstəricisidir).

NBE -nin qiyməti bioloji obyektin növündən başqa, həm də şüalanma şəraitindən və XEO - nin qiymətindən asılı olur.

Eyni XEO parametrinə malik müxtəlif şüalanma növləri üçün NBE - nin qiymətləri eyni olur (Барсуков О.А., Барсуков К.А. , 2003).

Keyfiyyət əmsalı və təhlükəlilik əmsalı. Verilmiş növə və konkret enerji şüalanmasına uyğun NBE -nin müəyyən olunmuş qiyməti *keyfiyyət əmsalı* adlanır və Q ilə işarə olunur.

Keyfiyyət əmsalının qiyməti radiobioloji tədqiqatlar vasitəsilə NBE -yə dair alınmış nəticələrə əsasən müəyyən edilir. Bu parametrin qiyməti də, NBE - nin qiyməti kimi, XEO parametrindən asılı olur.

Qeyd edək ki, Q əmsalı verilmiş nöqtədə udulma dozası halında şüalanmanın təsirini xarakterizə etmək üçün qəbul olunmuşdur. Radiasiya təhlükəsizliyi baxımından isə bir nöqtə üçün qəbul olunmuş udulma dozası deyil, ayrı-ayrı orqan və ya toxuma üçün qəbul olunmuş orta udulma dozası xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Buna görə də *təhlükəlilik əmsalı* adlanan digər bir əmsalın qəbul edilməsinə zərurət yaranmışdır. W_R ilə işarə olunan bu əmsal, təyininəndən görüldüyü kimi, udulma dozasının maddənin müəyyən həcmi üzrə götürülmüş qiymətini özündə əks etdirir (Рекомендации МКРЗ. Публ. 60).

Müxtəlif şüalanma növləri və enerji diapazonlarına uyğun təhlükəlilik əmsalları cədvəl 3.1-də öz əksini tapmışdır.

Cədvəl 3.1.

Şüalanmanın təhlükəlilik əmsalları

Şüalanmanın növü və enerji diapazonu	Şüalanmanın təhlükəlilik əmsalları, W_R
Bütün növ enerjili fotonlar üçün	1
Elektronlar və bütün növ enerjili mionlar üçün	1
Enerjisi:	
10 keV - dən kiçik,	5
10 – 100 keV intervalda,	10
100 keV – 2 MeV intervalda,	20
2 MeV – 20 MeV intervalda,	10
20 MeV -dən böyük neytronlar üçün	5
2 MeV -dən böyük enerjili protonlar üçün	5
Alfa zərrəciklər üçün	20
Parçalanma qəlpələri üçün	20
Ağır nüvələr üçün	20

Təhlükəlilik əmsalları bütöv orqanizmə düşən şüalanmaya aiddir.

Cədvəldən göründüyü kimi kiçik $XE\dot{O}$ parametrinə malik bütün şüalanmalar (fotonlar, elektronlar, bütün enerjili mionlar) üçün W_R -in qiyməti vahidə bərabərdir. Digər şüalanma növləri üçün W_R -in qiymətinin seçilməsi NBE - nin müşahidə olunan qiymətlərinə əsaslanır. Bu zaman standart şüalanma olaraq, həm rentgen, həm də γ - şüalanmadan istifadə etmək olar. Yuxarıda adı çəkilən parametrlərlə tanış olmamışdan əvvəl fikirləşmək olardı ki, şüalanmanın radiobioloji təsiri baxımından məsələyə yanaşsaq, bu haqda konkret fikir söyləməyin mümkün olması üçün udulma dozasının qiymətini bilmək kifayət edərdi. Aparılan tədqiqat işlərinin nəticələrinin təhlili isə yalnız udulma dozasının əsasında şüalanmanın radiobioloji təsirinə dair konkret fikir söyləməyin çətin olduğunu göstərdi. Daha dəqiq desək, canlı toxumaların şüalanmasının nəticələrinin təhlili eyni udulma dozasında müxtəlif növ şüalanmaların orqanizmə eyni bioloji təsir göstərmədiyini sübut etdi. Bunun səbəbi, ilk növbədə yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi, məsələn, proton kimi ağır zərrəciklərin, elektron kimi yüngül zərrəciklərlə müqayisədə, toxumalarda vahid uzunluqlu yolda daha çox ion əmələ gətirə bilməsidir.

Aydındır ki, eyni udulma dozasında şüalanmanın əmələ gətirdiyi ionların sıxlığı nə qədər çox olarsa, onun radiobioloji dağıdıcı təsiri də o qədər böyük olar. Məhz bu faktı nəzərə almaq üçün *ekvivalent doza* anlayışından istifadə edilir.

Dediklərimizdən aydın olur ki, udulma dozasının təyini zamanı eyni udulma dozasında α -, β -, γ - kimi müxtəlif şüalanmaların fərqli təsir göstərə bilməsi faktı nəzərə alınmır. Konkret olaraq, belə hesablamalarda α -şüalanmanın, digər şüalanma növləri ilə müqayisədə, 20 dəfə yüksək təhlükəlilik göstərə bilməsi faktı nəzərə alınmalıdır. Ona görə də udulma dozası hesablamalarında müxtəlif növ şüalanmaların fərqli təsir göstərə bilməsi faktını nəzərə almaq üçün şüalanma dozasını hər növə aid şüalanmanın canlı toxumaları zədələmək qabiliyyətini özündə əks etdirən təhlükəlilik əmsalına vurmaq lazım gəlir. Bu formada, yəni müxtəlif növ şüalanmaların təhlükəlilik əmsalları nəzərə alınmaqla hesablanan dozalar, ekvivalent dozalar adlanır.

Ekvivalent doza D_{ekv} kimi işarə olunur və $D_{ekv} = W_R \cdot D_{ud}$ kimi təyin olunur.

Ekvivalent dozanın BS - də vahidi 1 Zivert (Zv) qəbul olunub (1 Zv = 1 C/kq).

1Zv – istənilən şüalanma növünün elə ekvivalent dozasıdır ki, o, 1kq kütləli bioloji toxuma tərəfindən udularkən foton şüalanmasının 1Qr udulma dozasında yaratdığı qədər bioloji təsir yarada bilsin.

Uzun müddət ekvivalent dozanın sistemdən kənar vahidi kimi 1ber - dən də geniş istifadə edilmişdir. 1ber - rus dilində işlədilən “биологический эквивалент пада” sözlərinin baş hərfləridir. Bu vahid azərbaycan dilində 1rbe (*rad-in bioloji ekvivalenti*) kimi səslənir.

1ber – 1q toxuma tərəfindən udulan istənilən şüalanma növünün elə enerjisidir ki, bu zaman foton şüalanmasının 1rad udulma dozasında müşahidə olunduğu qədər (yəni 100 erq foton enerjisi udulan haldakı qədər) bioloji təsir yarana bilsin.

Hesablama yolu ilə göstərmək olar ki, 1Zv = 100 ber - dir. Qeyd edək ki, 1980-ci il yanvar ayının birindən etibarən 1ber istifadədən götürülmüşdür.

Dediklərimizdən aydın olur ki, əgər radioaktivliyə malik sahə müxtəlif növ şüalanmaya və müxtəlif W_R əmsallı şüalanma enerjisinə malikdirsə, məhz belə sahədə insanın radiasiya şüalanması təhlükəsini qiymətləndirmək üçün ekvivalent doza anlayışından istifadə olunur.

Nəzərə alsaq ki, ekvivalent dozanı tapmaq üçün ayrı-ayrı şüalanma komponentlərinin udulma dozalarını uyğun çəki əmsallarına vurub, bütün komponentlər üzrə toplamaq lazımdır, onda bu parametrlər üçün

$$D_{\text{ekv.}} = \sum_R W_R \cdot D_{\text{ud.}T.R.} \quad \text{şəklində ifadə almış olarıq.}$$

Burada $D_{\text{ud.}T.R}$ – verilmiş T toxuma və ya orqan üzrə R şüalanma komponentinin udulma dozasının orta qiymətidir (*Рекомендации МКРЗ. Публ. 60*).

3.1.5. Effektiv ekvivalent doza. Toxumaların çəki əmsalları. Doza hesablamaları zamanı nəzərə almaq lazımdır ki, orqanizmin hər hansı bir hissəsi (hər hansı orqanı və ya toxuması), digər hissələrlə müqayisədə, radiasiyanın təsirinə daha həssas ola bilər. Məsələn, eyni ekvivalent doza ilə şüalanma halında ağ ciyər xərçənginin yaranma ehtimalı qalxanvari vəzi ilə müqayisədə daha yüksək olur. Cinsi vəzilərin şüalanması isə genetik zədələnmə riski baxımından daha qorxuludur (şəkil 3.2).

Dediklərimizdən aydın olur ki, stoxostik effektlərin ehtimalının ekvivalent dozanın qiymətindən mümkün asılılığı, həm də ionlaşdırıcı şüalanmanın təsirinə məruz qalan orqan və ya toxumanın xüsusiyyətlərindən asılı olur. Buna görə də orqan və toxumaların şüalanma dozalarını radiasiya riski əmsalı ($RR\theta$) adlanan əmsalla hesablamaq zərurəti meydana çıxır. Bu əmsalı bəzən toxuma çəki əmsalı da adlandırırlar və W_T ilə işarə edirlər (" T " indeksi bu əmsalın konkret orqana və ya toxumaya aid olduğunu göstərir).

Deməli, W_T əmsalı, prinsipcə, bütöv orqanizmin bərabər səviyyədə total şüalanması zamanı stoxostik effektlərin yaratdığı ümumi zərərin verilmiş orqan və ya toxumanın payına düşən hissəsini göstərir. Ona görə də hər hansı orqan və ya toxumanın şüalanma dozalarını müəyyənləşdirmək üçün udulma dozalarını həmin orqan üçün uyğun çəki əmsalına vurmaq lazımdır. Bu formada təyin olunmuş ekvivalent doza effektiv ekvivalent doza ($D_{\text{eff.ekv.}}$) adlanır.

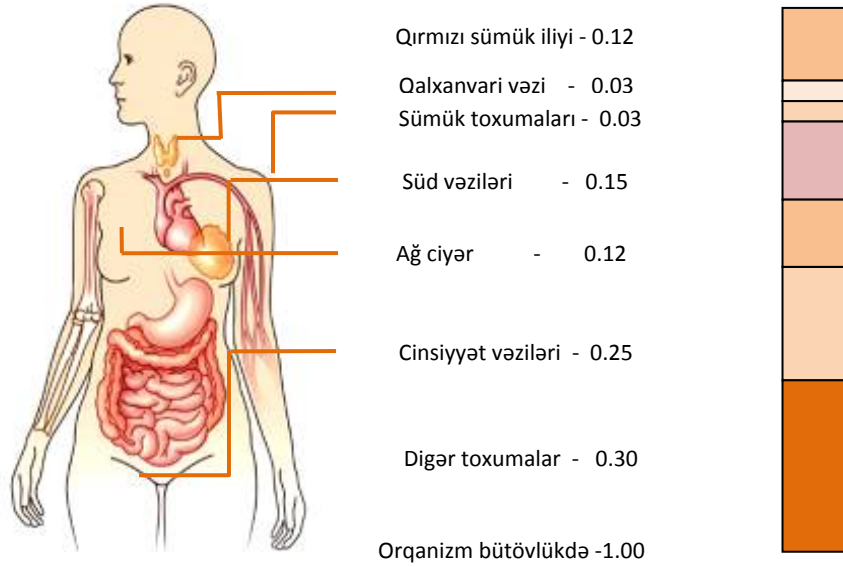
Ekvivalent dozanı uyğun radiasiya riski əmsalına vurub, bütün toxuma və orqanlar üzrə cəmləməklə isə, şüalanmanın orqanizmə yekun təsirini özündə əks etdirən effektiv ekvivalent dozayı tapmış olarıq:

$$D_{\text{eff.ekv.}} = \sum W_T \cdot D_{\text{ekv.}T}$$

Bədənin bərabər şüalanması halında insan orqanizminin ayrı-ayrı orqanları üçün radiasiya riski əmsallarına (toxuma çəki əmsallarına) dair məlumatlar cədvəl 3.2. –də öz əksini tapmışdır.

Effektiv ekvivalent doza ekvivalent dozaların orqanizmin bütün toxuma və orqanları üzrə toplanması əsasında müəyyən edildiyi üçün o, müxtəlif orqanların nisbi şüalanma riskini nəzərə almağa imkan verir.

Şüalanmanın effektiv ekvivalent dozası da *Zivert* - lərlə ölçülür.



Şəkil 3.2. Ayrı-ayrı orqan və toxumaların radiasiyanın təsirinə həssaslıq dərəcələri

Cədvəl 3.2.

Toxumaların çəki əmsalları

Toxuma və ya orqan	Toxumaların çəki əmsalları - W_T	Toxuma və ya orqan	Toxumaların çəki əmsalları - W_T
<i>Cinsiyət vəziləri</i>	0.20	<i>Qara ciyər</i>	0.05
<i>Qırmızı sümük iliği</i>	0.12	<i>Qida borusu</i>	0.05
<i>Yoğun bağırsağ</i>	0.12	<i>Qalxanvari vəzi</i>	0.05
<i>Ağ ciyər</i>	0.12	<i>Dəri</i>	0.01
<i>Mədə</i>	0.12	<i>Sümüklərin səthi</i>	0.01
<i>Sidik kisəsi</i>	0.05	<i>Digər orqanlar</i>	0.05
<i>Süd vəziləri</i>	0.05		

3.1.6. Kollektiv effektiv ekvivalent doza. Yuxarıda adlarını çəkdiyimiz anlayışlar fərdi udulma dozalarını özündə əks etdirir. İnsanlar qrupunun (müəyyən populyasiyanın) şüalanması ilə bağlı radiasiya effektlərini öyrənərkən isə, aydındır ki, kollektiv doza anlayışından istifadə etmək zərurəti meydana çıxır.

Bir qrup insan tərəfindən qəbul olunan doza *kollektiv effektiv ekvivalent doza* adlanır. Bu parametrin müəyyənləşdirilməsi üçün ayrı-ayrı fərdlər tərəfindən qəbul

olunan effektiv ekvivalent dozaları toplamaq lazımdır. Kollektiv effektiv ekvivalent doza *insan·Zv* -lərlə ölçülür.

Fərz edək ki, N sayda insan doza gücü P və $P+dP$ intervalında dəyişən şüalanma sahəsində yerləşmişlər. Onda kollektiv doza gücünü

$$P_s = \int_0^{\infty} PN(P)dP \quad \text{kimi müəyyən etmək olar.}$$

Əgər bu zaman doza gücünün $t_1 - t_2$ intervalında zamandan asılılığı məlumdursa, onda sonuncu ifadəni inteqrallaqla, kollektiv dozanı tapmış olarıq:

$$D_s = \int_{t_1}^{t_2} P(t)dt$$

Qeyd edək ki, kollektiv doza anlayışı verilmiş populyasiyanın şüalanmasının gələcəkdə gözlənilən zərərinin qiymətləndirilməsinə imkan verir

Gözlənilən kollektiv effektiv ekvivalent doza. Bu parametrin qəbul olunmasına səbəb bəzi radionuklidlərin çox kiçik sürətlə parçalanması və buna görə də uzaq gələcəkdə sonrakı nəsillərdə də radioaktiv qalmalarıdır.

Hər hansı radioaktiv elementin bütün mövcudluğu müddətində sonrakı nəsillərdə insanların ondan ala biləcəyi kollektiv effektiv ekvivalent dozanı *gözlənilən kollektiv effektiv ekvivalent doza* adlandırırlar.

3.2. Ümumi radiobioloji anlayışların qısa xülasəsi

1. Fəsil I - də qeyd etdiyimiz kimi, hər hansı qeyri-stabil nüvədən 2 proton və 2 neytron ayrılması α -şüalanma, elektron ayrılması β -şüalanma, onların daşdığı enerji isə, uyğun olaraq, α - və β - şüalanma enerjiləri adlanır. Bu zaman bəzi hallarda qeyri-stabil nuklid o dərəcədə həyəcanlanmış olur ki, hətta hər hansı zərrəcik şüalandırması belə onu həyəcandan tam azad edə bilmir. Belə hallarda nüvə γ -şüalanma adlanan təmiz enerji şüalandırmaqla, həyəcanlanma enerjisindən tamamilə azad olur. Rentgen şüalanmasında olduğu kimi, bu halda da şüalanma korpuskulyar zərrəciyin ayrılmasına səbəb olmur.

2. Müxtəlif şüalanma növləri müxtəlif enerjiyə və müxtəlif nüfuzetmə qabiliyyətinə malik olduqları üçün onlar toxumalara eyni cür təsir etmirlər. Məsələn, adi kağız vərəqini keçə bilməyən ağır zərrəciklər seli olan α - şüalar dərinin üst, ölmüş hüceyrələrdən ibarət təbəqəsinə belə nüfuz edə bilmir. Bu səbəbdən də α -şüalar, açıq yara yerindən, nəfəs və qida yolları vasitəsilə daxilolma hallarını çıxmaq şərti ilə orqanizm üçün heç bir təhlükə yaratmır. Qeyd edək ki, orqanizmə daxil olmuş α -zərrəciklər işə həddən artıq təhlükəli olur. β - şüalanma, α - şüalanma ilə müqayisədə, nisbətən yüksək nüfuz etmə qabiliyyətinə malikdir. Onlar canlı orqanizmin ayrı-ayrı toxumalarına 1-2 sm - ə qədər nüfuz edə bilir. γ -şüalar ifrat yüksək nüfuzetmə qabiliyyətinə malik olan şüalardır. Onlar yalnız qalın divarlı qurğuşun və ya beton lövhələri keçə bilmir.

3. Aydındır ki, şüalanmanın canlı orqanizmdə yaratdığı "zədələnmələr"

toxumalara verilən enerji çox olan hallarda daha böyük olur. Orqanizmin bu halda qəbul etdiyi enerji “doza” adlanır. Qeyd edək ki, bu gün “doza” termininin ümumi qəbul olunmuş termin olmasına baxmayaraq, bir çox alimlər bu terminin seçilməsini uğurlu seçim hesab etmirdilər. Belə ki, qədimdən “doza” terminindən dərman preparatlarının elə miqdarı (dozası) üçün istifadə edilmişdir ki, o, orqanizmə zərər vermədən ona yalnız xeyir verir. Əsasən zərərindən danışılan radiasiya şüalanması üçün isə, aydındır ki, bunu demək olmaz.

4. Orqanizm şüalanma dozasını kənarında yerləşmiş və ya hansısa yolla orqanizmə daxil olmuş istənilən radionukliddən ala bilər. Şüalanma dozası eyni bir udulma dozasında α -şüalanmanın, β - və γ -şüalanmalarla müqayisədə, daha çox təhlükəli olduğunu nəzərə almır. Bu faktı nəzərə almaq üçün udulma dozasını verilmiş növ şüalanmanın toxumaları “zədələmək” qabiliyyətini özündə əks etdirən təhlükəlilik əmsala vurmaq lazımdır. Bu üsulla hesablanmış dozaları ekvivalent doza adlandırırlar.

5. Nəzərə almaq lazımdır ki, bədənin bir hissəsi (orqanları, toxumaları) digər hissəsinə nəzərən şüalanmaya daha həssas olur. Buna görə də ayrı-ayrı orqan və toxumaların udulma dozası hesablanarkən alınmış rəqəmlər uyğun “çəki” əmsallarına vurulmalıdır. Ekvivalent dozaları uyğun “çəki” əmsallara vurub, alınmış rəqəmləri bütün orqan və toxumalar üzrə cəmləməklə, şüalanmanın bütöv orqanizmə ümumi təsirini özündə əks etdirən effektiv ekvivalent dozaları alırıq.

6. Effektiv ekvivalent doza ayrı-ayrı fərdlərin aldığı dozaları əks etdirir. Fərdi effektiv ekvivalent dozaları toplamaqla isə, bir qrup insanların birgə aldığı kollektiv effektiv ekvivalent dozaları müəyyənləşdirmiş olur.

7. Bir çox radionuklidlər çox ləng parçalandıqları üçün onlar, uzun müddət radioaktiv olaraq, qalırlar və bu halda onların sonrakı nəsillərdə yaratdığı dozadan söhbət açmaq olar. Adı çəkilən parametrlər gözlənilən kollektiv effektiv ekvivalent doza adlanır.

İndi də radiasiya dozimetriyasında daha çox istifadə olunan bəzi ölçü vahidləri arasında mümkün əlaqə ilə tanış olaq.

Radioaktiv şüalanmaya aid vahidlər və onlar arasında mümkün əlaqə cədvəl 3.3-də öz əksini tapmışdır.

3.3. Şüalanmanın yolverilən doza həddi və radiasiyanın gücü

İnsanlar mövcud olduğu bütün dövrlərdə təbii radiasiya mənbələrinin yaratdığı şüalanmanın təsirinə məruz qalır. Adətən radiasiyanın zərərli təsirindən danışıldığı halda, bu gün kiçik dozalı radiasiyanın canlı orqanizmlərə stimullaşdırıcı təsir edə bilməsindən də söhbət gedir. Bu baxımdan, fərdi yolverilən doza həddi (FYDH) anlayışının daxil edilməsi zərurəti yaranıb ki, onu da ayrı-ayrı radionuklidlərin insan orqanizmində toplanmasına dair rəqəmlər əsasında asanlıqla hesablamaq mümkündür.

Radiasiya dozimetriyasının ölçü vahidləri arasında əlaqə

Şüalanma obyektı	Ölçü vahidinin adı	İşarəsi	BS-də ölçü vahidi	Sistemdən kənar vahidi	Vahidlər arasında əlaqə
	Aktivlik	A	$1Bk=1 \text{ parç/san}$	$1Ku$	$1Ku=3,7 \cdot 10^{10} Bk$
<i>Hava və ya hansısa mühit</i>	Ekspozisiya dozası	$D_{\text{eksp.}}$	$1 Kl / kq$	$1 R$	$1 Kl / kq = 3,88 \cdot 10^3 R$
<i>Cansız obyektlər</i>	Udulma dozası	D_{ud}	$1 Qr = 1 C / kq$	$1 rad$	$1 Qr = 100 rad$
<i>Canlı orqanizmlər</i>	Ekvivalent doza	$D_{\text{ekv.}}$	$1 Zv$	$1 ber$	$1 Zv = 100 ber$

Bu formada hesablamalar göstərir ki, insan bir il ərzində orta hesabla 2.4 mZv qədər doza qəbul edə bilər. Onda, orta yaş həddini 70 il qəbul etməklə, ömürlük şüalanma dozası üçün $2.4 \text{ mZv} / \text{il} \cdot 70 \text{ il} = 168 \text{ mZv}$ almış olarıq.

Radiasiyadan mühafizə üzrə Milli Komissiyasının işləyib hazırladığı və 1989-cu ildə Rusiya Səhiyyə Nazirliyinin təsdiq etdiyi normativ sənədlərə əsasən insanın bütün həyatı boyu aldığı fərdi yol verilən doza həddi təbii dozanın iki misindən, yəni $336 \text{ mZv} \approx 350 \text{ mZv}$ - dən çox olmamalıdır.

Qeyd edək ki, bu rəqəm bir çox beynəlxalq təşkilatların təstiq etdiyi rəqəmlərə uyğun gəlir. Həmin təşkilatların hesabatlarında göstərilir ki, insanın 70 il ərzində 35 ber - dən artıq doza qəbul etməsi onun sağlamlığı üçün zərərli olur.

Hesabatlarda həmçinin də göstərilir ki, qəbul olunmuş hər ber doza insan ömrünü xərçəngdən ölmə ehtimalı hesabına 7 gün azaldır.

Belə bir faktı da qeyd etmək yerinə düşərdi. Sağlamlığın Formalaşmasının Tibbi-bioloji Problemləri İnstitutunun (Moskva ş.) əməkdaşlarının gəldiyi nəticələrə əsasən ömrün uzunluğunun 20% -i insanın bu günkü sağlamlığından asılı olursa, 20% -i ətraf mühitin vəziyyətindən, 10% -i tibbi xidmətin keyfiyyətindən, 50% -i isə onun özündən, yəni onun həyat tərzindən, qidalanmağından və istirahətindən asılı olur.

1987-ci ildən qüvvəyə minən kosmik uçuşlara dair normativlərə əsasən kosmonavtlar uçuş vaxtı 500 mZv həddində birdəfəlik, 5 il -lik peşə fəaliyyəti müddətində isə ümumilikdə 4 Zv qədər ümumi doza təsirinə "dözə" bilməlidir. Məsələn, 25 yaşlı kosmonavt 1 il -lik uçuş müddətində 665 mZv -ə bərabər şüalanma dozası qəbul edə bilər. Bu səbəbdən də, kosmik uçuşlar üçün möhkəm sağlamlığa malik və çoxlu sayda sınaqlardan keçmiş insanlar hazırlanır.

Dediklərimizi ümumiləşdirərək, deyə bilərik ki, təbii mənbələri də nəzərə almaqla, maksimal illik şüalanma 5 mZv -i aşmamalıdır. Bunun əsasında asanlıqla yol verilən radiasiya gücü həddini hesablamaq olar ki, bu da

$$5 \text{ mZv} / \text{il} = 5 \cdot 10^3 \text{ mkZv} / 365 \cdot 24 \text{ saat} = 0.57 \text{ mkZv} / \text{saat} \text{ həddində olar.}$$

1990 -cı ildə Radiasiyadan Mühafizə üzrə Beynəlxalq Komissiyanın (*RMBK)

60-cı Nəşrində qəbul olunmuş radiasiya təhlükəsizliyinə dair yeni təkliflərinə və Beynəlxalq Səhiyyə Təşkilatının (BST) təkliflərinə əsasən təbii radiasiya fonuna uyğun $0.1 - 0.2 \text{ mkZv/saat}$ ($10 - 20 \text{ mkR/saat}$) həddində radiasiya səviyyəsi normal səviyyə, $0.2 - 0.6 \text{ mkZv / saat}$ ($20 - 60 \text{ mkR / saat}$) həddində radiasiya səviyyəsi yolverilən səviyyə, $0.6 - 1.2 \text{ mkZv / saat}$ ($60 - 120 \text{ mkR / saat}$) həddində radiasiya səviyyəsi isə, ekran effekti nəzərə alınmaqla, yüksək radiasiya səviyyəsi hesab olunur. Qeyd edək ki, zəiflətmə (ekran) əmsalı daş tikililər üçün 10, ağac tikililər üçün isə 2 -dir.

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Radiasiya Problemləri İnstitutunun əməkdaşlarının apardığı tədqiqatlar Respublikamızın əksər ərazilərində radiasiya fonunun $3 - 17 \text{ mkR / saat}$ intervalında olduğunu göstərir ki, bu da, təbii radiasiyanın fon qiymətinə uyğun gəlir. Respublikamızın bəzi ərazilərində (məsələn, Zaqatala rayonunun ərazisində) bu rəqəm $20-25 \text{ mkR/saat}$ -a çatır (*Dzhafarov E.S. et. al., 2002*).

Məlumdur ki, Respublikamızda, əsasən də Abşeron yarımadasında ümumi ekoloji, o cümlədən də radioekoloji vəziyyəti formalaşdıran əsas amillər ilk növbədə neft - qaz istehsalı və emalı ilə bağlıdır. Sanitar normalara riayət edilməməsi yarımadaanın böyük bir hissəsinin neft və buruq suları ilə çirklənməsinə və nəticədə yüksək radioaktivliklə xarakterizə olunan lokal çirklənmə zonalarının əmələ gəlməsinə səbəb olmuşdur. Daha çox neft quyularının ətrafında müşahidə olunan bu zonalar əsasən kiçik ölçüyə malik olub, $50 - 200 \text{ m}^2$ sahəni əhatə edir. Yerin dərin qatlarından çıxan radionuklidlərin quyuyaətrafı ərazilərdə torpağa hopması Bibiheybət, Suraxanı, Balaxanı, Qum adası, Pirallahı, Lökbatan neft buruqlarının əhatə etdiyi ərazilərdə, $5 - 10 \text{ mkR/saat}$ -a bərabər təbii radiasiya fonu ilə müqayisədə, radioaktivliyi $5-100$ dəfəyə qədər çox olan zonaların yaranmasına səbəb olmuşdur (*Dzhafarov E.S., 2003*)

Özündə radium daşıyan və nisbətən yüksək radioaktivliyə malik buruq sularından əmələ gələn gölməçələrin yaratdığı lokal çirklənmə zonalarına isə əsasən Suraxanı, Balaxanı, Romanı, Bibiheybət neft mədənlərinin ərazilərində rast gəlmək olur. Məsələn, Yeni Suraxanı və Romanı yod zavodlarının ərazilərində əmələ gələn və suyundan xammal kimi istifadə olunan bu cür gölməçələrdə radiyasiya fonu $50 - 150 \text{ mkR/saat}$ intervalındadır.

Adı çəkilən zavodların ərazilərində radiasiya təhlükəsi yaradan digər mənbə yod istehsalında adsorbent kimi istifadə olunan aktivləşmiş kömürdür. Özündə çoxlu miqdarda radionuklid toplamış bu cür kömür ətraf mühit üçün $300 - 500 \text{ mkR/saat}$ radioaktivlikli çirklənmə mənbəyi rolunu oynayır (*Оруджева Дж.Р., Джафаров Э.С., 2007*). Açıq səma altında saxlanılan bu kömürün yaşayış məntəqələrindən kənar yerlərdə basdırmaqla, onun külək vasitəsilə ətrafa yayılmasının və canlılar üçün yarada biləcəyi təhlükənin qarşısını almaq mümkündür.

Radionuklidlərin Respublikamızın ərazisinə, o cümlədən də Abşeron yarımadasına transsərhəd çayları vasitəsilə daşınması da istisna deyildir. Qeyd etmək lazımdır ki, məsələn, yalnız Ermənistan AES -in fəaliyyəti nəticəsində ildə 6700 m^3 qədər bərk, 2500 m^3 qədər isə maye radioaktiv tullantılar əmələ gəlir ki, bunlardan da 400 m^3 qədəri (50 m^3 - bərk, 350 m^3 - maye) çox yüksək radioaktivliklə, 3800 m^3 qədəri

isə ($1700 m^3$ - bərk, $2100 m^3$ - maye) orta radioaktivliklə xarakterizə olunur.

Adı çəkilən AES-in tullantılarında xüsusi radioaktivlik 10^6 - 10^7 Bk/kg həddinə çatır (*Нац. доклад Армении, 2003*). Əlavə olaraq qeyd edək ki, Ermənistanın hazırkı iqtisadi vəziyyəti ilə əlaqədar zərərli tullantıların basdırılması üçün nəzərdə tutulmuş 12 məntəqədən yalnız dördü fəaliyyətdədir. Tullantı məntəqələrinin əksəriyyətinin isə çayların sahilində yerləşməsi bu tullantıların bir qisminin çaylara axıdılması və nəticədə onların Kür - Araz çayları şəbəkəsi ilə Xəzərin Abşeron yarımadası sahillərinə daşınması fikrini söyləməyə əsas verir.

Abşeron yarımadasının ağır, o cümlədən də radioaktiv metallarla digər çirklənmə mənbəyi palçıq vulkanlarıdır. Nəzərə alsaq ki, yer kürəsində mövcud olan bütün palçıq vulkanlarının üçdə birindən çoxunun Azərbaycanın, onun da 50 % -dən çoxunun Qobustan və Abşeron yarımadasının payına düşür (*Сәфəров Е.С. və başq., 2002*), onda bu problemin də ciddiliyi aydın olur. Aparılan tədqiqatlar palçıq vulkanlarının püskürməsi nəticəsində ətraf mühitə, litosferlə müqayisədə, 100 dəfələrlə çox toksiki, həmçinin də radioaktiv kimyəvi elementlərin səpələnməsini və vulkanların yaxın ərazilərində radionuklidlərlə lokal çirklənmə zonalarının yaranmasını göstərir.

Respublikamızın coğrafi vəziyyəti və onun atom-nüvə silahlarının intensiv sınaqdan keçirildiyi Semipalatinsk və Nevada ilə təxminən eyni en dairəsində yerləşməsi Respublikamızın ərazisində qlobal atmosfer köçürmələri vasitəsilə daşınan radioaktiv tozun çökməsinə real şərait yaratmışdır ki, bu da ayrı-ayrı yerlərdə yeni lokal çirklənmə zonalarının yaranmasına səbəb olmuşdur (*М.А.Абдуллаев, Дж.А.Алиев., 1998*).

Respublikamız üçün xarakterik olan bu rəqəmlərə müəyyən qədər aydınlıq gətirək. Müqayisə üçün qeyd edək ki, rəngli televizorun bilavasitə qarşısında ekspozisiya dozasının gücü $40 - 50$ mkR / saat, $10 - 12$ km yüksəklikdə uçan təyyarədə isə 500 mkR / saat təddində olur. Nəzərə alsaq ki, insan təbii radiasiya mənbələrindən il ərzində 240 mkZv doza qəbul edir, onda yol verilən normanı qəbul etməsi üçün onun 22 saat təyyarədə ucması, 216 sutka rəngli televizorun qarşısında oturması və ya 1 dəfə rentgen kabinetində diş müayinəsində olması kifayətdir (*Радиация. Дозы, эффекты, риск, 1990*).

3.4. İonlaşdırıcı şüalanmanın növləri (əlavə)

Məlum olduğu kimi, müxtəlif şüalanma növləri dedikdə, radiodalğalar, infraqırmızı şüalar, görünən işıq, ultrabənövşəyi, rentgen və qamma şüalar kimi müxtəlif tezlikli (dalğa uzunluğu) elektromaqnit dalğaları və həmçinin də korpuskulyar təbiətli *alfa* -, *beta* - zərrəciklərin, neytronların, protonların və müxtəlif nüvə hissəciklərinin yaratdığı şüalanmalar başa düşülür. Zərrəciklər seli və ya elektromaqnit dalğası olmasından asılı olmayaraq, müxtəlif şüalanmaları ionlaşdırıcı və ya qeyri - ionlaşdırıcı kimi növlərə ayırırlar. Adı çəkilən şüalanma növləri arasında rentgen, qamma və korpuskulyar zərrəciklərin yaratdığı şüalanmalar mühitin zərrəcikləri ilə qarşılıqlı təsir zamanı müxtəlif işarəli elektrik yükləri (ionlar) əmələ

gətirmək qabiliyyətinə malik olduqları üçün həmin şüalanma növləri həm də ionlaşdırıcı şüalanma adlanır.

Dediklərimizdən aydın olur ki, ionlaşdırıcı şüalanmanın korpuskulyar və elektromaqnit təbiətli növləri vardır. Sıfırdan fərqli sükunət kütləsinə malik elektronlar, protonlar, neytronlar və s. kimi bir çox zərrəciklər seli korpuskulyar növə, sükunət kütləsinə malik olmayan rentgen və γ - şüalara uyğun fotonlar seli isə elektromaqnit təbiətli növə aid edilir.

İonlaşdırıcı şüalanmaya enerjisi molekulların istilik hərəkətinin enerjisinə bərabər olan kiçik sürətli neytronlar da aid edilir.

Bioloji obyektlər üçün şüalanma o vaxt ionlaşdırıcı olur ki, o, canlı orqanizmlərin təşkil olunduğu molekullarda kimyəvi rabitələri qırmaqla, bioloji əhəmiyyətli dəyişikliklər əmələ gətirmək qabiliyyətinə malik olsun.

Aydındır ki, ionlaşdırıcı şüalanmanın tezliyi nə qədər böyük olarsa, onların daşıdığı enerji də o qədər böyük olar və bu halda şüalar düşdüyü səthin daha dərin qatlarına nüfuz edə bilər.

Qeyd edək ki, radiodalğalar, infraqırmızı şüalar, görünən işıq ionlaşma yolu ilə orqanizmin zədələnməsini yarada bilməsələr də, intensivliyi və təsir müddəti böyük olan hallarda bu şüalar da ciddi bioloji effektlər yarada bilər.

Yüksək kinetik enerjiyə malik olan elektronlar, pozitronlar, neytronlar, protonlar kimi elementar zərrəciklərin təsiri də canlı orqanizmin molekullarının yüksək dərəcədə ionlaşmasını yarada bilər.

İonlaşdırıcı şüalanma yaradan korpuskulyar zərrəciklərin əksəriyyəti elektrik yükünə malik olurlar ki, bunlar da, öz növbəsində, "yüngül" və "ağır" zərrəciklər kimi 2 qrupa bölünürlər. Belə bölgədə birinci qrupa kütlələri, ən yüngül nüvə olan hidrogenin nüvəsi ilə (protonla) müqayisədə, 3 tərtib kiçik olan elektronlar və pozitronlar, ikinci qrupa isə protonlar, deytronlar, *alfa* - və digər daha ağır zərrəciklər daxil edilir. Neytral korpuskulyar zərrəciklərdən isə ən çox maraq doğuranı sükunət kütləsi təxminən protonun kütləsinə bərabər olan neytrondur.

Korpuskulyar təbiətli ionlaşdırıcı şüalanma. Elektronlar və pozitronlar.

Ümumi ad altında *beta* - zərrəciklər adlanan bu zərrəciklər β^- - və β^+ - şüalanmalar yaradırlar.

β^- zərrəciklər öz fiziki təbiətinə görə nüvə ətrafında fırlanan elektronlardan fərqlənmirlər. Belə ki, elektronlar kimi, β^- - zərrəciklər də mənfi elementar yük daşıyıcılarıdır. *Pozitron* adlanan β^+ - zərrəciklər isə müsbət yük daşıyıcılarıdır və onların elektrik yükü protonun yükü qədərdir.

Atom nüvələrinin parçalanması zamanı yaranan *beta* - zərrəciklər müxtəlif sürətlərə malik olmalarına baxmayaraq, verilmiş növ radioaktiv atom üçün onların sürəti dəqiq bir qiymətə malik olur. Məsələn, radioaktiv fosforun ($_{15}P^{32}$) parçalanması zamanı yaranan *beta* - zərrəciklərin sürəti işığın sürətindən bir az kiçik, ən böyük enerjisi isə $1.7 MeV$ -ə bərabər olur.

Mənfi yüklü *beta* - şüalanma zamanı ilkin radioaktiv atom Mendeleyev cədvəlində özündən sağda yerləşən atoma çevrilir. Müsbət yüklü *beta* - şüalanma isə

sola sürüşməyə, başqa sözlə desək, bir vahid kiçik kütlə ədədinə malik atomun yaranmasına səbəb olur. Atom nüvəsinin *beta* - şüalanması elektrik yükü və sükunət kütləsi olmayan digər bir zərrəciyin – neytronun da yaranmasına səbəb olur. Müəyyən edilmişdir ki, bu zərrəcik maddə ilə zəif qarşılıqlı təsirdə olur və canlı materiyaya, demək olar ki, təsir göstərmir.

Alfa - zərrəciklər *beta* - zərrəciklərdən 7300 dəfə ağır zərrəciklərdirlər və onlar yüksək atom kütlə ədədinə malik bəzi elementlərin (məsələn, radiumun) radioaktiv parçalanması zamanı yaranırlar: ${}_{88}\text{Ra}^{226} \rightarrow \alpha + {}_{86}\text{Rn}^{222}$.

Bu reaksiya nəticəsində yaranan *alfa* - zərrəciklər 4.791 MeV enerjiyə malik olur və onların sürəti təxminən 17000 km/san -ə bərabər olur.

Hal - hazırda parçalanma zamanı *alfa* - zərrəciklər yarıdan 30 - dan çox təbii radioaktiv element mələumdur. Bundan başqa, təbiətdə mövcud olmayan bir çox *alfa* - şüalanma mənbələrini süni yolla da almaq mümkün olmuşdur. Bunlar, əsasən, atom sıra nömrəsi 93 - 104 aralığında yerləşən transuran elementlərdir.

Protonlar və deytronlar – ağır hidrogenin nüvələridir. *Alfa* -zərrəciklərlə müqayisədə protonun kütləsi təxminən 4, deytronun kütləsi isə 2 dəfə kiçikdir. Protonlar bəzi nüvə reaksiyalarında birbaşa atom nüvəsindən şüalanırlar. Buna misal olaraq, kükürdün sürətli neytronlarla bombardman edilməsini göstərmək olar ki, bu zaman son nəticədə radioaktiv fosfor yaranır: ${}_{16}\text{S}^{32} + {}_0n^1 \rightarrow {}_{15}\text{P}^{32} + {}_1\text{H}^1$.

Protonları və deytronları tsiklotronlar, sinxrotratronlar və digər nüvə zərrəcikləri sürətləndiricilərinin köməyi ilə çox böyük enerjiyə qədər sürətləndirmək mümkündür. Belə halda onların enerjiləri 10 -100 milyard elektron volt -a qədər arta bilər. Kosmik şüaların tərkibində protonlar böyük enerjilərinin hesabına Yerə maqnit sahəsinin sərhədlərini keçərək atmosfərə daxil olur və bir sıra nüvə reaksiyaları zənciri yarada bilərlər. Nəticədə havada radioaktiv karbon (C^{14}) və radioaktiv hidrogen – tritium (H^3) yaranır.

Neytronlar. İonlaşdırıcı şüalanmaya həmçinin elektrik yükü daşımayan, neytral zərrəcikləri (məsələn, neytronu) də aid etmək olar. Bu zərrəciklər bəzi nüvə reaksiyalarında, həmçinin də uran və ya plutoniumun nüvələrinin parçalanma prosesində yaranırlar ki, bunlardan da ən çox maraq doğuranı neytrondur.

Nüvə reaksiyaları ən güclü neytron mənbələri hesab olunur. Belə reaksiyalar zamanı yaranan neytronlar müxtəlif sürətlərə malik ola bilərlər. Bu səbəbdən də neytronları, şərti olaraq, sürətli (enerjisi 0.5 – 1 MeV və daha çox), orta (enerjisi 1000 eV -dan 500 keV -a qədər) və yavaş (enerjisi 1000 eV -dan kiçik) neytronlar kimi növlərə ayırırlar. Enerjisi 1eV -dan kiçik olan ən kiçik sürətli neytronlar istilik neytronları adlanırlar.

Elektromaqnit təbiətli ionlaşdırıcı şüalanma. Elektromaqnit təbiətli ionlaşdırıcı şüalanma əsasən γ - və rentgen şüalanmalarla təmsil olunur. Korpuskulyar terminologiyada bu şüalanmalara uyğun zərrəcikləri γ - və *rentgen kvantları* (*fotonları*) adlandırırlar.

γ -şüalanma nisbətən böyük enerjiyə (adətən 500 keV-dan böyük) malik fotonlardan ibarət olur ki, bunlar da nüvə çevrilmələrində və zərrəciklərin

annihilyasiyası proseslərində yaranır. Müxtəlif nüvə reaksiyalarının gedişində və bir çox radioaktiv maddələrin parçalanması prosesində yaranan γ -şüaların enerjisi *on minlərlə elektronvolt* -dan *milyon elektronvolt* -a qədər intervalda dəyişə bilər və hər bir radioaktiv maddənin parçalanması onun üçün xarakterik olan enerjiyə malik olur

Rentgen şüalanmasına uyğun fotonların enerjisi təxminən *1-500 keV* həddlərində dəyişir. Bu enerji *UB* -şüalanma fotonları ilə γ -şüalanma fotonları arasında yerləşən enerji intervalına uyğun gəlir. Rentgen şüalanmasını xarakteristik və tormoz şüalanması kimi növlərə ayırırlar. Birinci növ şüalanma diskret enerji spektrinə malik foton şüalanmasıdır. Bu şüalanma növü atomların energetik vəziyyətinin dəyişməsi zamanı yaranır. Kəsilməz enerji spektrinə malik ikinci növ rentgen şüalanması yüklü zərrəciklərin kəskin tormozlanması, daha dəqiq desək, onların kinetik enerjilərinin dəyişməsi zamanı yaranır. Rentgen şüalanması mənbəyi adi rentgen aparatı borusudur. Bu zaman qızmış katoddan termoelektron emissiyası hesabına qopmuş elektronlar elektrik sahəsində yüksək sürət toplayaraq, anod üzərində kəskin tormozlanırlar və nəticədə onların enerjisi rentgen şüalanma fotonlarının enerjisinə çevrilir. Kifayət qədər yüksək enerjiyə malik rentgen şüalanması betatron adlanan qurğuda elektronların çox böyük sürət həddinə qədər sürətləndirilməsi və onların bərk maddə üzərində kəskin tormozlanması hesabına alınır. Qeyd edək ki, belə tormozlanma *milyon elektronvolt* –a qədər enerjiyə malik rentgen fotonları almağa imkan verir.

Yüksək enerjili rentgen şüalanmasını digər bir fiziki aparatın – xətti sürətləndiricilərin köməyi ilə də almaq olur. Bu gün betatronlardan və xətti sürətləndiricilərdən tibbdə rentgen şüalanması mənbəyi kimi istifadə edilir.

Günəşin özü də nəhəng rentgen şüalanması mənbəyidir. Sadəcə olaraq, Günəşdən gələn şüaları Yer atmosferi kəskin udduğundan onun alt təbəqəsi olan troposferdə bu şüaları müşahidə etmək olmur. Əks halda Yerdə həyatın olmasından söhbət belə gedə bilməzdi. Peyk və kosmik gəmilərdə quraşdırılmış aparatların köməyi ilə isə atmosferin yuxarı qatlarında rentgen şüalarını qeydə almaq mümkündür.

Burada çox vacib olan bir faktı da qeyd etmək yerinə düşərdi. Belə ki, həm gamma, həm də rentgen şüalarının canlı orqanizmlərə bioloji təsiri, demək olar ki, fərqlənir. Dediklərimizdən aydın olur ki, “ionlaşdırıcı şüalanma” anlayışı fiziki təbiətinə görə fərqlənən müxtəlif şüalanma növlərini özündə birləşdirir. Bunların oxşar cəhətləri ondan ibarətdir ki, bu növ şüalanmalar yüksək enerjiyə malik olmaqla yanaşı, həmçinin də enerji udulması baş verən maddəyə kimyəvi təsirinə görə yaxın, canlı orqanizmlərə təsirinə görə isə analoji xüsusiyyətlərə malik olurlar.

**Qeyd. Radiasiyadan Mühafizə üzrə Beynəlxalq Komissiya rusca Международная Комиссия по Радиационной защите (МКРЗ), ingiliscə isə International Commission on Radiological Protection (ICRP) adlanır.*

Diqqət! Əgər γ -şüalanmanın və ya β -zərrəciklərin ekvivalent doza gücü 0.6 mkZv/saat həddini aşarsa, bu halda mütləq rayon və Respublika sanitar epidemioloji nəzarət orqanları məlumatlandırılmalıdır.

RADIASIYA SƏVİYYƏSİNƏ NƏZARƏT ÜSULLARI

Çernobil AES - də qəzadan sonra əhalinin müəyyən hissəsində ətraf mühitin radioekoloji vəziyyəti ilə bağlı informasiya əldə etmək və əvvəllər lazımsız hesab edilən fərdi dozimetrlərə sahib olmaq marağı yarandı. Hətta bəzi şəhərlərdə radio və televiziya vasitəsilə radioekoloji vəziyyətlə bağlı gündəlik məlumatlar da yayımlanmağa başladı.

Bu gün əhali arasında fəaliyyətdə olan və tikilməsi planlaşdırılan AES-lərə qarşı açıq-aşkar etiraz edənlərin sayı kifayət qədərdir. Həmçinin də müxtəlif AES-lərdə (məsələn, Böyük Britaniyanın Uindskeyl, ABŞ-ın Tri Mayl Aylend, keçmiş SSRİ-nin (Ukraynanın) Çernobil, Yaponiyanın Fukusima AES-lərində) və atom sualtı qayıqlarında baş verən qəzalar, nüvə poliqonları ərazilərində yaranmış mürəkkəb ekoloji vəziyyət, radioaktiv tullantıların daşınması və basdırılmasının yaratdığı problemlər və bu kimi çoxlu sayda digər hallar əhalinin bir qismində psixoloji gərginlik və bəzən də hətta kiçik radiasiya səviyyəsinə qarşı belə qorxu hissləri (radiofobiya) yararmışdır.

Qeyd edək ki, yaxın vaxtlara qədər radiasiya səviyyəsinə nəzarət etməyə imkan berən dozimetrik – radiometrik cihazlar yalnız radiasiya ilə əlaqəsi olan az sayda insanları maraqlandırırıdısa, bu gün bu cihazlara sahib olmaq istəyində olanlar kifayət qədərdir və əhalinin istifadəsi üçün müxtəlif tip məişət dozimetrlərinin işlənilməsi və istehsalı ilə onlarla dövlət müəssisələri məşğul olur. Belə dozimetrlərin ilk partiyası artıq açıq satışa da buraxılmışdır.

4.1. İonlaşdırıcı şüalanmanın qeydə alınmasının fiziki əsasları

Radioaktivlik hadisəsinin kəşfindən az sonra, tək-cə radioaktiv şüalanmanı qeydə almağa deyil, həm də onun səviyyəsini qiymətləndirməyə imkan verən xüsusi cihazların yaradılması zərurəti yarandı.

İonlaşdırıcı kamera adlanan həmin cihazların ilkin variantının iş prinsipi radioaktiv şüaların mühitin atomlarını ionlaşdırmaq (onlardan elektron qoparmaq) qabiliyyətinə əsaslanmışdır.

Ümumiyyətlə götürdükdə, yüklü zərrəciklərin, γ - kvantların və neytronların qeydə alınma üsulları adı çəkilən zərrəciklərin maddə ilə hər hansı qarşılıqlı təsir proseslərinə əsaslanır (*Левин В.Е., Хамьянов Л.П., 1979; Абрамов А.И. и др., 1986*). Məsələn, konkret olaraq, yüklü zərrəciklərin qeydə alınması üçün onların ionlaşdırıcı təsirindən istifadə olunur və son nəticədə detektor üzərinə düşən şüaların yaratdığı cərəyan ölçülür. Belə ki, bu zaman şüalanmanın yaratdığı elektronlar və müsbət -

mənfi yükə malik ionlar elektrik sahəsinin təsiri altında elektrodlara tərəf hərəkət etməklə, verilmiş dövrdə cərəyan yaradırlar ki, bu cərəyanın şiddətinə əsasən də radiasiyanın səviyyəsi müəyyən edilir. Aydınır ki, şüalanma səviyyəsi yüksək olan halda, əmələ gələn ionların sayı və son nəticədə cərəyan şiddəti də yüksək olacaq. Belə dövrdə çıxış signalı gərginlik və ya cərəyan impulsu şəklində özünü biruzə verir. Yaranmış impulsun amplituduna əsasən zərrəciyin enerjisi, impulsun formasına əsasən isə zərrəciyin növü haqqında fikir söyləmək mümkün olur.

Məlum olduğu kimi, fotoqrafik üsul ionlaşdırıcı şüalanmanı qeydə almaq üçün istifadə olunan ilk təcrübi üsul olmuşdur. Bekkerel məhz, ilk dəfə olaraq, bu üsulla sonradan radioaktiv şüalar adlandırılan şüaları qeydə ala bilmişdir. Fotoemulsiya üsulu adlanan bu üsulun əsasında böyük sürətli yüklü zərrəciklərin emulsiya təbəqəsi çəkilmiş foto lövhədə hərəkəti zamanı öz yollarında gizli xəyal əmələ gətirmək qabiliyyəti durur.

Qeyd edək ki, radioaktiv şüalanmanın təsiri ilə bir sıra maddələrdə dönməz kimyəvi çevrilmələr baş verir. Bu cür çevrilmələr şüalanmış maddələrin optik sıxlığını, onun rəngini, kimyəvi reaksiya çıxımını və s. dəyişdirə bilir ki, bu dəyişmələrin də əsasında radioaktiv şüalanmanın qeydə alınma prinsipi dayanır.

İonlaşdırıcı şüalanmanın ssintilyatorlar və ya fosforlar adlanan bəzi maddələrdən keçməsi zamanı ssintilyasiya (görünən və ya UB işıq parıltıları) əmələ gəlməsi bu hadisədən ionlaşdırıcı şüalanmanın qeydə alınmasında istifadə edilə bilməsinin əsasını qoymuşdur. Bu halda yaranmış parıltıları qeydə almaqla, şüalanmanın səviyyəsini müəyyən etmək olur.

Radioaktiv şüalanmanı qeydə almaq və onun xüsusiyyətlərini öyrənmək üçün Çarlz Vilsonun 1912 - ci ildə işləyib hazırladığı kamera böyük əhəmiyyət kəsb etmişdir. Sayğacın iş prinsipinin əsasında kameraya daxil olan ionlaşdırıcı zərrəciyin trayektoriyası boyunca əmələ gələn ionlar zənciri üzərində işçi həcmə doldurulmuş ifrat doymuş su buxarının asanlıqla kondensasiya etməsi dayanır. Su damcılarında yaranmış iz təkcə ionlaşdırıcı zərrəciyi qeydə almağa deyil, həm də onun enerjisini, sürətini və yükünü qiymətləndirməyə imkan verir.

Elementar zərrəcikləri qeydə almaq üçün istifadə olunan ən yaxşı üsullardan biri də temperaturu qaynama temperaturuna yaxın ifrat qızmış maye ilə doldurulmuş kameradan istifadə etməkdir. Qabarcıqlı kamera adlanan bu kameraya böyük sürətli yüklü zərrəciyin daxil olması onun yolu boyunca buxar qabarcıqlarının yaranmasına səbəb olur və nəticədə zərrəciyin izi boyunca yaranan buxar qabarcıqları zənciri onun hərəkət izini əmələ gətirir. Yaranmış izə əsasən də zərrəciyi qeydə almaq mümkün olur.

1951 - ci ildə Vavilov - Çerenkov şüalanması adlanan şüalanma növünün aşkar edilməsi də bu şüalanmadan elementar zərrəcikləri və γ - kvantları qeydə almaq üçün istifadə edilə bilməsinin başlanğıcını qoydu. Bu əsasda işləyən sayğaclardan işığın mühitdəki faza sürətindən böyük sürətlə hərəkət edən α - və β - zərrəcikləri qeydə almaq üçün istifadə edilir. Bu halda, məlum olduğu kimi, α - və β - zərrəciklər kimi yüklü zərrəciklərin maddədə hərəkəti zamanı Vavilov - Çerenkov şüalanması yaranır.

Bu şüalanmanı da qeyd etməklə, hərəkət edən zərrəciklərin sayı müəyyənləşdirilir.

Sonradan müəyyən edildi ki, radioaktiv şüalanmanın təsiri yarımkeçiricilərin həcmində yükdaşıyıcıların konsentrasiyasını artırmaqla, onların keçiriciliyini dəyişir. Bunun əsasında radioaktiv şüalanmanı qeydə almağa imkan verən yeni növ cihazlar quraşdırmaq mümkün oldu.

Radioaktiv şüalanmanı qeydə almaq üçün istifadə olunan cihazlar şüalanma detektorları adlanır. Bu gün daha geniş istifadə sahəsi tapmış detektorların əksəriyyətinin iş prinsipinin əsasında məhz radioaktiv şüalanmanın maddənin atomlarını ionlaşdırmaq qabiliyyəti durur.

Şüalanmaları qeydə alan sistemlər, detektordan başqa, həm də ölçü aparatından ibarət olur. Bu zaman ölçü aparatı detektorun çıxışındakı siqnalı qəbul edərək, ölçü əməliyyatını yerinə yetirir.

4.2. İonlaşdırıcı şüalanma detektorlarının əsas parametrləri

a) **Effektivlik.** Bu parametr η ilə işarə olunur və $\eta = \frac{N_s}{N_z} \cdot 100\%$ kimi, yəni

detektorun qeydə aldığı siqnalların (impulsların, işıq parıltılarının və s.) sayının detektora düşən zərrəciklərin sayına nisbəti kimi təyin edilir.

η - nin qiyməti detektorun xassələrindən, düşən zərrəciyin enerjisindən, təcrübənin qoyulma xüsusiyyətindən asılı olur. İstənilən düzgün qoyulmuş təcrübədə effektivliyin sabit qalması və yaxud da effektivliyin dəyişməsinə nəzarət tam təmin olunmalıdır.

b) **Ayırdetmə vaxtı.** Ayırdetmə vaxtı dedikdə elə minimal τ müddəti başa düşülür ki, həmin müddət ərzində detektor iki ardıcıl hadisəni qeydə ala bilsin. Əgər bu müddət ərzində hansısa başqa hadisə baş verirsə, onda o, ya ümumiyyətlə qeydə alınmır, ya da qeydəalma düzgün olmur.

c) **Energetik ayırdetmə.** Bu parametr impulsların amplitud paylanmasına uyğun pikin ΔE eninin detektorun monoenergetik zərrəciklər seli ilə şüalandırılması zamanı yaranan pikin zirvəsinə uyğun E enerjisə nisbəti kimi təyin edilir (faizlərlə ifadə olunur):

$$\theta = \frac{\Delta E}{E} 100\% .$$

Qeyd edək ki, detektorun çıxışında siqnalın amplitudu küy səviyyəsindən, yəni qeydə alınan zərrəciklər olmayan halda detektorun məxsusi fonundan yüksək olmalıdır.

Detektorlar həmçinin sabitliyi, etibarlılığı, titrəməyə davamlılığı, qiyməti ilə xarakterizə olunurlar.

4.3. İonlaşdırıcı şüalanmanın qeydə alınma üsulları

4.3.1. Çerenkov sayğacları. 1951 - ci ildə Vavilov - Çerenkov şüalanması adlanan şüalanma növünün aşkar edilməsi bu şüalanmadan elementar zərrəcikləri və

γ - kvantları qeydə almaq üçün istifadə edilə bilməsinin başlanğıcını qoydu. Daha dəqiq desək, müəyyən edildi ki, α - və β - zərrəciklər kimi yüklü zərrəciklərin maddədə hərəkəti zamanı xüsusi şüalanma yaranır ki, həmin şüalanmanı da qeyd etməklə, hərəkət edən zərrəciklərin sayını müəyyənləşdirmək mümkündür. Bu gün bu əsasda işləyən sayğaqlardan işığın mühitdəki faza sürətindən böyük sürətlə hərəkət edən α - və β - zərrəcikləri qeydə almaq üçün istifadə edilir.

4.3.2. Vilson kamerası. Radioaktiv şüalanmanın xüsusiyyətlərini öyrənmək üçün Çarlz Vilsonun 1912-ci ildə işləyib hazırladığı kamera böyük əhəmiyyət kəsb etmişdir. Ç. Vilson müəyyən etmişdir ki, ifrat doymuş su buxarı ionlaşdırıcı zərrəciyin trayektoriyası boyunca əmələ gələn ionlar zənciri üzərində asanlıqla kondensasiya edir.

Bu üsuldən bu gün uğurla istifadə edilir. Bu məqsədlə müstəvi şüşə qapağı olan silindrik qab, içərisində doymuş spirt buxarı olan hava ilə doldurulur və kameranın işçi həcmi rezin boru vasitəsilə rezin "armudla" birləşdirilir. Sonra radioaktiv maddə (preparat) kameranın içərisində bərkidilmiş nazik məftil üzərində yerləşdirilir. Kameranın işə salınması üçün rezin armud yavaş-yavaş sıxılır və birdən buraxılır. Sürətlə genişlənmə nəticəsində işçi həcmdəki hava və buxar soyuyur və nəticədə buxar ifrat doymuş hala keçir. Həmin anda radioaktiv preparatdan α -zərrəciklərin şüalanması onların qazda hərəkət trayektoriyası boyunca ionlar toplusunu yaradacaq. İfrat doymuş buxar isə yaranan ionlar üzərində kondensasiya etməklə, maye damcılarına çevriləcək. Damcılar, yalnız kondensasiya mərkəzi rolunu oynayan ionlar üzərində deyil, həmçinin də tozcuqlar üzərində əmələ gələcək.

Zərrəciyin hərəkət trayektoriyası boyunca yaranan damcı sütunu zərrəciyin izi adlanır. Vilson kamerasında α -zərrəciyin izi, adı hallarda belə, aydın görünür. β -zərrəciklər isə öz yollarında daha az ionlar cütü yaratdığından, onların izlərini müşahidə etmək, adətən, çətinlik törədir.

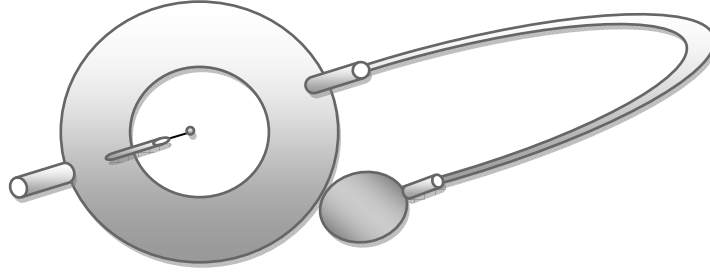
Rus fiziki Dmitriy Skobilinin təklifi ilə Vilson kamerasını güclü bircins maqnit sahəsində yerləşdirməklə, zərrəciklərin yükü və kütləsi haqqında məlumatlar almaq olur. Bu zaman maqnit sahəsində hərəkət edən yüklü zərrəciklərə Lorens qüvvəsinin təsir etməsi onların adı çəkilən sahədə çevrə qövsü üzrə hərəkət etməsinə səbəb olur ki, bu qövsün radiusuna və elementar zərrəciyin sürətinə əsasən də onların xüsusi yükünü (yükünün kütləsinə nisbətini) təyin etmək mümkün olur. Bəzən də, α - və β - zərrəciklərinin məlum xüsusi yüklərinə əsasən və onların maqnit sahəsində meylinin əyrilik radiuslarını müəyyənləşdirməklə, zərrəciklərin sürət və enerjiləri təyin edilir.

Vilson kamerasının xarici görünüşü şəkil 4.1 -də təsvir olunmuşdur.

4.3.3. Qabarcıqlı kamera. Elementar zərrəciklərin xassələrini öyrənmək üçün istifadə olunan ən yaxşı cihazlardan biri də qabarcıqlı kameradır. Bu kameranın iş prinsipi ifrat qızmış mayenin zərrəciyin izi boyunca buxara çevrilməsinə əsaslanmışdır.

Bu cihazda zərrəcikləri qeydə almaq üçün istifadə edilən qapalı kamera

əvvəlcədən temperaturu qaynama temperaturuna yaxın maye ilə doldurulmuş olur. Sonra böyük sürətli yüklü zərrəcik kameranın divarında yerləşdirilmiş nazik pəncərədən onun işçi həcminə daxil olur və öz hərəkət izi boyunca maye atomlarını ionlaşdırır. Zərrəciyin kameranın işçi həcminə daxil olması anında kamera daxilində təzyiqli kəskin azaltmaqla, mayenin ifrat qızmış hala keçməsinə nail olunur. Bununla da



Şəkil 4.1. Vilson kameranının xarici görünüşü

zərrəciyin izi boyunca yaranan ionlar əlavə kinetik enerji əldə etmiş olurlar və bunun da hesabına hər bir ionun ətrafında mikroskopik həcmdə mayenin temperaturu artır. Bu isə həmin yerdə mayenin qaynamasına və buxar qabarcıqlarının yaranmasına səbəb olur. Beləliklə də, zərrəciyin izi boyunca yaranan buxar qabarcıqları zənciri onun hərəkət izini əmələ gətirir.

4.3.4. Fotoemulsiya üsulu. Radioaktivlik hadisəsi ilə tanış olarkən qeyd etmişdik ki, fotoqrafik üsul ionlaşdırıcı şüalanmanı qeydə almaq üçün istifadə olunan ilk təcrübi üsul olmuşdur. Belə ki, Bekkerel məhz bu üsulla radioaktivlik şüaları qeydə ala bilmişdir.

Radiasiyanın emulsiya təbəqəsi çəkilmiş foto lövhədə gizli xəyal əmələ gətirmək qabiliyyətindən bu gün də ionlaşdırıcı şüalanmanı qeydə almaq üçün geniş istifadə edilir. Böyük sürətli yüklü zərrəciklər nazik laylı fotoemulsiyada hərəkət edərək öz yollarında gizli xəyal mərkəzləri əmələ gətirir ki, bunun da aydınlaşdırılması zərrəciyin hərəkət trayektoriyasının xəyalını (şəklini) verir.

Foto lövhəli dozimetrlərdə fotoemulsiya üsulundan əsasən ionlaşdırıcı şüalanma dozasını ölçmək üçün istifadə edilir. Bu dozimetrlərdə insanın qəbul etdiyi şüalanma dozasını müəyyən etmək üçün kassetdə yerləşdirilmiş xüsusi fotoqrafiya lövhəsindən istifadə edilir. İş gününün sonunda (və yaxud da müəyyən bir müddətdən sonra) foto lövhə standart şəraitlərdə aydınlaşdırılır və onun qaralma dərəcəsinə əsasən qəbul olunmuş doza şüalanması müəyyən edilir.

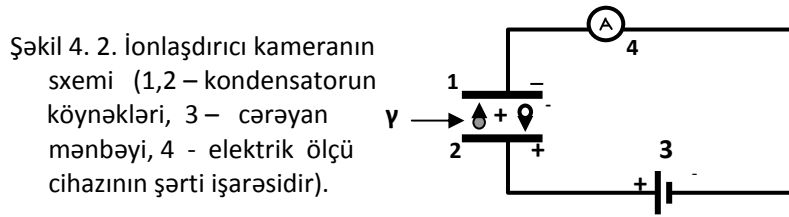
4.3.5. Kimyəvi üsullar. Kimyəvi üsullar radiasiyanın təsiri ilə bir sıra maddələrdə dönməz kimyəvi çevrilmələrin baş verməsinə əsaslanır. Bu cür çevrilmələr isə şüalanmış maddələrin optik sıxlığını, onun rəngini, kimyəvi reaksiya çıxımını dəyişdirə bilər ki, bunların da əsasında radioaktiv şüalanma qeydə alınır.

4.4. Detektorlar. İonlaşdırıcı şüalanmanı qeydə alan sayğaclar

4.4.1. Qaz ionlaşdırıcı detektorlar. Yüklü zərrəcikləri və γ - kvantları qeydə almaq üçün istifadə olunan əsas detektorlar qaz ionlaşdırıcı detektorlar tipinə aid edilir. Bu detektorlara misal olaraq, ionlaşdırıcı kameraları, qazboşalması sayğaclarını göstərmək olar.

Qaz ionlaşdırıcı detektorların əsas elementi içərisi qazla doldurulmuş müxtəlif formalı kondensatorlardır. Detektorların xassələri, elektrodların formasından, doldurulmuş qazın təzyiqindən, elektrodlar arasındakı elektrik sahəsinin paylanmasından və sahənin qiymətindən asılı olaraq, müxtəlif olur.

a) İonlaşdırıcı kamera. İonlaşdırıcı kamera adətən elektrodlar arasına hava və ya hansısa qaz doldurulmuş silindrik formalı kondensatordan ibarət olur. Sxematik olaraq, ionlaşdırıcı kameranı şəkil 4.2 - dəki kimi təsvir etmək olar.



Ölçmə zamanı sabit cərəyan mənbəyinin köməyi ilə kameranın elektrodları arasında elektrik sahəsi yaradılır. Adi şəraitlərdə havada sərbəst yüklü zərrəciklərin sayı çox az olduğundan, dövrəyə qoşulmuş ölçü cihazı bu cür dövrədə elektrik cərəyanı olmadığını göstərir. Kameranın işçi həcmindən radioaktiv şüalanmaya uyğun zərrəciklərin keçməsi isə qaz molekullarının ionlaşmasına səbəb olur. Bu zaman yaranmış müsbət və mənfi yüklü ionlar elektrik sahəsinin təsiri ilə hərəkətə başlayır və kamerada ionlaşma cərəyanı adlanan cərəyan yaranır. Yaranmış cərəyan, adətən, mikroamperin min, bəzən də milyonda bir hissəsini təşkil etdiyindən bu cür zəif cərəyanların ölçülməsi üçün xüsusi elektron çoxaldıcılarından istifadə edilir.

İonlaşdırıcı kameranın köməyi ilə hər üç radioaktiv şüalanma növünü qeydə almaq mümkündür. Əgər radioaktiv preparat kiçik nüfuzetmə qabiliyyətinə malik α - və ya β - şüalanma yaradırsa, bu halda o, kameranın daxili işçi həcmində yerləşdirilir. Yüksək nüfuzetmə qabiliyyətli γ - şüalanmanın qeydə alınması üçün isə radioaktiv maddənin kamera daxilində yerləşdirilməsi vacib deyil. Belə ki, bu şüalanma növü kameranın divarlarını sərbəst keçərək daxildə yüklü zərrəciklər yarada bilər.

Kameranın işçi həcmindən keçən böyük sürətli yüklü zərrəcik öz yolunda bir neçə on minlərlə ion cütü yarada bilər. Qeyd edək ki, kamerada yaranan ionlaşma cərəyanına uyğun kiçik impulsları qeydə almaq çətin olduğundan, ionlaşdırıcı kameralardan, əsasən, çoxlu sayda ionlaşmış zərrəciklərin yaratdığı orta ionlaşma cərəyanını ölçmək üçün istifadə edilir.

İonlaşdırıcı kameralar elektronlar, γ - kvantlar, protonlar və s. kimi müxtəlif növ zərrəcikləri (şüalanmanı) qeydə almağa imkan verir. Qeydəalma prosesində kameradakı qaz, ya bilavasitə ilkin zərrəciklərin təsiri ilə ionlaşır, ya da γ - kvantların kameranın divarlarından qopardığı elektronlar qazı ionlaşdırır.

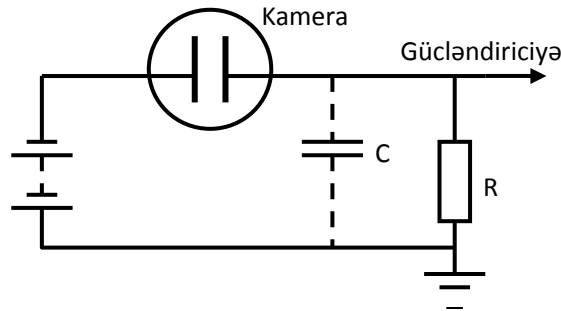
Kameraya doldurulmuş qazın təzyiqi, qarşıya qoyulmuş məqsəddən asılı olaraq, atmosfer təzyiqinə bərabər və ya ondan fərqli ola bilər.

Bu gün müxtəlif formalı və müxtəlif ölçülü ionlaşdırıcı kameralar işləyib hazırlamaq mümkün olmuşdur ki, bunlardan da ən geniş yayılanı paralel müstəvi elektrodları olan kameralardır.

Dediklərimizdən aydın olur ki, ionlaşdırıcı kameranın iş prinsipinin əsasında ilkin zərrəciklərin təsiri ilə qazın ionlaşması və kamerada müsbət və mənfi yüklü zərrəciklərin yaranması dayanır. Bu halda yaranmış zərrəciklər elektrik sahəsinin təsiri ilə elektrodlara tərəf hərəkət etməklə, dövrədə elektron ölçü cihazının köməyi ilə qeydə alınan elektrik cərəyanı yaradır. Bu qaydada işləyən kamera cərəyan və ya inteqral rejimli kamera adlanır. Cərəyan rejimli kameralardan doza və doza gücünü təyin etmək üçün istifadə edilir.

İonlaşdırıcı kamera impuls rejimində də işləyə bilər (şəkil 4.3). Bu halda ionlaşdırıcı kameranın işçi həcminə daxil olan ayrı-ayrı zərrəciklər qeydə alınır. İmpuls rejimində işləyən ionlaşdırıcı kameralardan yüklü zərrəciklərin sayını təyin etmək üçün istifadə olunur.

b) Qaz boşalması sayğacları. Bir çox yüklü zərrəcikləri və γ - kvantları qeydə almaq üçün qaz boşalması sayğacları adlanan sayğaclarından istifadə edilir.

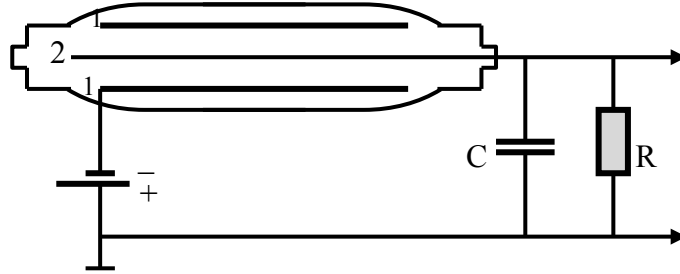


Şəkil 4.3. İmpuls rejimində işləyən ionlaşdırıcı kameranın işləmə sxemi.

İlk qaz boşalması sayğacı alman fiziki Hans Heyger tərəfindən quraşdırılmış və sonradan digər alman fiziki Ervin Müller tərəfindən təkmilləşdirilmişdir. Bu səbəbdən də qazboşalması sayğaclarını adətən Heyger - Müller sayğacları adlandırırlar. Bu gün qaz boşalması sayğaclarından ən geniş istifadə olunanı Heyger - Müller sayğacları və Proporsional sayğaclarıdır.

Proporsional sayğaclar (həmçinin də Heyger - Müller sayğacları), adətən, təsirsiz qazla (ya da qaz qarışığı ilə) doldurulmuş, germetik, silindrik formalı borudan ibarətdir. Borunun oxu boyunca nazik (0.05 mm diametrli) metal məftil çəkilmişdir. Bu sayğacın

gövdəsi rolunu alimiumdan, paslanmayan poladdan və ya şüşədən hazırlanmış və diametri bir neçə santimetr, uzunluğu isə bir neçə santimetrdən bir neçə destimetrə qədər olan boru oynayır. Şüşə olan halda gövdənin daxili səthi nazik keçirici təbəqə ilə örtülür (şəkil 4.4).



Şəkil 4.4. Qazboşalması sayğacının ölçmə dövrəsinə qoşulma sxemi (1 - katod, 2 - anod).

Borunun bir - birindən dielektrik təbəqə ilə ayrılmış gövdəsi və metal məftil silindrik kondensatorun köynəkləri rolunu oynayır. Bu halda kondensatorun xarici köynəyi (sayğacın gövdəsi) katod, metal məftil isə anod olur. Sayğacın işçi həcmi əksər hallarda 0.1 atm . təzyiqli qaz qarışığı ilə (məsələn, arqon qazı və metil spirtinin qarışığı ilə) doldurulur.

Yüklü zərrəcikləri qeydə almaq üçün sayğacın elektrodlarına yüksək sabit gərginlik verilir. Müxtəlif növ sayğaclar üçün bu gərginlik ($300 - 400$) V-dan ($1500 - 2000$) V - a qədər intervalda dəyişir.

Borunu dolduran qaz və ya qaz qarışığı adi halda neytral atom və molekulardan təşkil olunduğundan, sayğacın işçi həcmində adətən yüklü zərrəcik olmur və belə dövrdə cərəyan yaranmır. Böyük sürətli yüklü zərrəciyin sayğacın işçi həcmindən keçməsi isə həmin qazı ionlaşdırır və nəticədə elektrik dövrəsində cərəyan yaranır. Cərəyan keçən anda qaz boşalması sayğacında $10^8 - 10^9$ sayda ion cütünün əmələ gətirdiyi cərəyan impulsu yaranır və beləliklə də zərrəciyin qeydə alınması həyata keçir. Taclı boşalma adlanan bu növ müstəqil qaz boşalması parıltısını söndürmək və sayğacın yeni zərrəciyi qeydə ala bilməsini təmin etmək üçün xüsusi elektron sxemindən istifadə edilir.

Qazboşalması sayğacları ionlaşdırıcı kameradan onunla fərqlənir ki, bunlar üçün ilkin ionlaşma deyil, ilkin ionların qazın atomları (molekulları) və kameranın divarı ilə toqquşması nəticəsində yaranan ikinci ionlaşma xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

Elektrodların qeyd olunan formada yerləşdirilməsi hesabına sayğacda elektrik sahəsinin gərginliyi qeyri-bərabər paylanır. Daha dəqiq desək, detektorun ümumi həcmnin kiçik hissəsini təşkil edən məftilin yaxınlığında gərginlik yüksək, digər

yerlərdə isə nisbətən kiçik olur. Gərginliyin belə paylanması detektorun xarakterik xüsusiyyətlərini özündə əks etdirir.

Proporsional sayğacda baş verən proseslərin üzərində ətraflı dayanaq. Ardıcıl olaraq bir-birini tamamlayan 3 prosesi nəzərdən keçirək.

İlkin ionlaşma. Detektordan keçən yüklü zərrəciyin trayektoriyası boyunca sayğacın işçi həcmünün istənilən yerində ilkin ionlar yaranır. Əgər zərrəciyin yolu bu həcmə yerləşirsə, onda yaranan ionların sayı zərrəciyin enerjisinə mütənasib olur.

İkinci ionlaşma. İlkin müsbət yüklü ionlar və elektronlar elektrik sahəsinin təsiri ilə uyğun elektrodalara tərəf hərəkət etməyə başlayırlar. Elektronlar məftilin ətrafında mövcud olan yüksək gərginlik sahəsinə çataraq, sahənin təsiri ilə kəskin sürətlənirlər və zərbə yolu ilə ionlaşmaya kifayət edən yüksək enerji əldə edirlər. Nəticədə elektronların zərbəsi atomlardan (molekullardan) yeni elektronların qoparılmasına səbəb olur ki, bu elektronlar da həmin sahədə yüksək sürət toplayaraq, zərbə ilə yeni elektronlar yaradırlar. Bu proseslər son nəticədə elektronlar seli yaradır.

Qeyd edək ki, bu prosesdə bir ilkin elektronun təsiri ilə minlərlə (və daha çox) ikinci elektronlar yarana bilər. Aydın ki, bu prosesdə həm də külli miqdarda müsbət yüklü ionlar yaranacaq. Elektron selinin yaranma müddəti $\sim 10^{-8}$ san qədər olur. Baxdığımız bu proses qaz güclənməsi adlanır.

Təkrar elektron seli. Bu prosesdə təkrar elektron seli iki müxtəlif ardıcıl proses nəticəsində yaranır. Belə ki, ionlaşmanın başlanğıcında yaranmış elektronlar borunu dolduran qazın neytral atomlarını (molekullarını) həyəcanlandırırlar. Həyəcanlanmış atomlar (molekullar) da, öz növbəsində, fotonlar şüalandırmaqla, ilkin - həyəcanlanmamış hala qayıdırlar. Yaranmış fotonların enerjisi katoddan fotoelektronlar qoparmağa kifayət etdiyindən sonuncular yeni elektron seli yaradır. Baxdığımız prosesin müddəti, fotoelektronların katoddan qaz boşalması oblastına qədər hərəkət müddəti də nəzərə alınmaqla, $\sim 10^{-6}$ san təşkil edir.

Təkrar elektron selinin yaranmasının ikinci mərhələsini katoda çatmış müsbət ionların neytrallaşma prosesində ondan elektronlar qopara bilməsi təşkil edir.

İndi də proporsional sayğacın bəzi xüsusiyyətləri ilə tanış olaq. Bu sayğac yalnız yüklü zərrəcikləri qeydə almağa deyil, həm də onların enerjisini ölçməyə imkan verir.

Proporsional sayğacın energetik ayırdetmə qabiliyyəti ionlaşdırıcı kameralara nisbətən aşağı olur. Bunun səbəbi bu qəbildən olan sayğacın qaz güclənməsi əmsallarının $10^{-2} - 10^{-4}$ - ə bərabər olması və nəticədə çıxışda yaranan impulsun amplitudunun kiçik ($\sim 10^{-2}$ V) olmasıdır.

Proporsional sayğaclarda yüklü zərrəciklərin qeydə alınma effektivliyi 100% - ə çata bilər.

Qeyd edək ki, yüksək enerjili zərrəciklərin qaçış yolu proporsional sayğaca yerləşməyindən bu sayğacla enerjiləri nisbətən kiçik olan zərrəcikləri qeydə almaq (öyrənmək) mümkün olur.

Aydındır ki, son nəticədə qeydə alınmış elektron selinə uyğun boşalma söndürülməlidir. Heyger - Müller sayğaclarında bu məqsədlə ardıcıl qoşulmuş yüksəkumlu müqavimətdən istifadə olunur.

Qaz boşalmasını özü söndürən sayğaclardan da geniş istifadə olunur. Bu sayğacların kamerasına təsirsiz qazla yanaşı, həm də söndürücü qaz qarışığı doldurulur. Söndürücü qaz, adətən, ya 10 - 15 % spirt, etilen kimi üzvi qazdan, ya da 0.1 - 0.5 % halogendən (yod və ya bromdan) ibarət olur. Bu zaman söndürücü qaz molekulları, həm əsas qaz ionlarını neytrallaşdırmaqla, həm də katoddan fotoelektron qopara bilən fotonları intensiv udmaqla, qaz boşalmasını söndürür.

Heyger-Müller sayğacında yaranan gərginlik impulsu 0.2 V - 40 V intervalında olur və bu qiymət detektə olunan zərrəciyin enerjisindən asılı olmur. Bu sayğacın ayırdetmə müddəti $10^{-3} - 10^{-5}$ san, bəzi hallarda isə 10^{-7} san -yə bərabər ola bilər.

İndi də Heyger-Müller sayğacının α -, β -, γ - şüalanmaları qeydə ala bilməsi üçün tələb olunan bəzi konstruksiya xüsusiyyətləri üzərində dayanacaq.

α - zərrəciklər sayğacı. α - zərrəciklərin havada qaçış yolu kifayət qədər kiçik (~ 1 sm) olduğundan, onların qeydə alınması üçün qalınlığı 0.1 mkm olan nazik şlyuda pəncərədən istifadə edilir. Bəzi hallarda isə α - şüalanma mənbəyi sayğacın daxilində yerləşdirilir.

β - zərrəciklər sayğacı. β - zərrəcikləri qeydə almaq üçün yüngül, metal katodu olan nazik divarlı sayğaclardan istifadə olunur. Bunun səbəbi, məlum olduğu kimi, β - zərrəciklərin çox da böyük olmayan qaçış yoluna malik olması ilə əlaqədardır.

Heyger - Müller sayğacında α - və β - zərrəciklərin qeydə alınma effektivliyi 100 % -ə yaxındır.

γ - kvantlar sayğacı. Bu sayğaclarla γ - kvantların qeydə alınması sayğac üzərinə düşən kvantların oradan elektron qoparması əsasında həyata keçirilir. γ - kvantların elektron qoparma və sonuncuların sayğacın işçi həcminə daxilolma ehtimalı kiçik olduğundan, onların qeydə alınma effektivliyi çox kiçikdir ($\sim 1 - 2$ %).

Qeydə alınma effektivliyini artırmaq məqsədi ilə sayğacların divarını adətən misdən və ya mis örtüyü olan şüşədən hazırlayırlar.

4.4.2. Ssintilyasiya detektorları. Ssintilyasiya sayğacları. İonlaşdırıcı şüalanmanın qeydə alınmasının ssintilyasiy üsulu eksperimental nüvə fizikasının ən qədim üsullarından hesab olunur.

Hələ 20 - ci yüz illiyin başlanğıcında (1902 - ci ildə) Uilyam Kruks müşahidə etmişdir ki, α - zərrəciyin flüoressensiya edə bilən maddənin üzərinə düşməsi zəif, ancaq gözlə görünən işıq parıltıları – ssintilyasiya yarada bilər. Hər bir α - zərrəciyin bir işıq parıltısı yarada bilməsi müəyyən edilmişdir ki, bundan da α - zərrəcikləri qeydə almaq üçün istifadə edilmişdir. Həmin parıltıları gözlə saymaq çətin və yorucu olduğundan, elektron çoxaldıcılarının əsasında işləyən xüsusi ssintilyasiya sayğacları quraşdırılmışdır.

Dediklərimizdən aydın olur ki, ionlaşdırıcı şüalanmanın ssintilyatorlar və ya fosforlar adlanan bəzi maddələrdən keçməsi zamanı ssintilyasiya (görünən və ya UB işıq parıltısı) yarada bilməsi ssintilyasiya sayğaclarının iş prinsipinin əsasını təşkil edir.

Yaranmış parıltıların qeydə alınması üçün isə fotoelektron çoxaldıcılarından (FEÇ) istifadə olunur.

Müəyyən edilmişdir ki, həyəcanlanmış fosfor atomlarının parıltıvermə intensivliyi zamandan asılı olaraq, eksponensial $J = J_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ qanunu üzrə dəyişir (burada J_0 – başlanğıc intensivlik, τ - parıltıvermə müddəti və ya zərrəciyin həyəcanlanmış halda qalma müddətidir).

Üzvi ssintilyatorlarda elementar parıltıvermə aktları ayrı-ayrı molekulların daxilində baş verir. Bu zaman ssintilyatordan keçən zərrəciyin təsiri ilə maddənin molekulları həyəcanlanır ki, onların da bu haldan əsas hala qayıtması işıq şüalanması ilə müşayiət olunur. Yüksək sürətli bu proses 10^{-9} san ərzində baş verir və maddənin aqreqat halından asılı olmur.

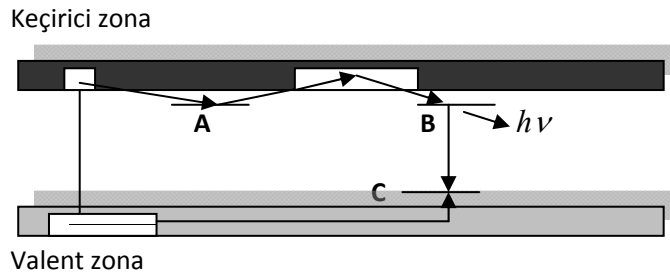
Bəzi hallarda yüksək sürətli proseslə yanaşı $10^{-8} - 10^{-7}$ san müddətində baş verən ləng proses də baş verə bilər. Ləng prosesin səbəbi ionlaşmış molekulların rekombinasiyası və qeyri - stabil vəziyyətlərdə olan molekulların parıldamasıdır. İonlaşma sıxlığı yüksək olduqca, bu cür molekulların sayı da çox olur. Bu səbəbdən də, yüksək sürətli və ləng komponentlərin nisbəti mühitə daxil olan zərrəciyin ionlaşdırma qabiliyyətindən asılı olur. Üzvi ssintilyatorların bu xüsusiyyəti müxtəlif növ zərrəcikləri qeydə almağa imkan verir.

Qeyri - üzvi kristallarda – dielektrlərdə parıltıvermə prosesləri kristalların adətən mürəkkəb və çoxşaxəli zona quruluşu ilə əlaqəli olur.

Şəkil 4.5 - də bu cür kristallarda şüalanma yaranmasının mümkün mexanizmlərindən biri təsvir olunmuşdur.

Şəkildə defektlərlə bağlı və elektron tələləri adlanan lokal səviyyələr də öz əksini tapmışdır. Baxılan halda aşqar – aktivatorlar (Tl, Al, Eu, Sn) xüsusi rol oynayır. Qəbil olunmuşdur ki, ssintilyator maddəsinin işarəsindən sonra mütərizədə aktivator elementi də göstərilsin. Məsələn, $NaJ(Tl)$ işarəsi natrium yod kristalının talliumla aktivləşdirildiyini göstərir.

Kristal dielektrikin kifayət qədər geniş, qadağan olunmuş zonasına aşqar - aktivator daxil edilməsi lüminessensiya mərkəzləri adlanan energetik səviyyələrin



Şəkil 4.5. Kristalın parıltıvermə prosesində atom- aktivatorun rolunu aydınlaşdıran sxem.

yarınmasına səbəb olur.

Fərz edək ki, kristala daxil olan zərrəciyin təsiri ilə elektron valent zonadan keçirici zonaya keçmişdir. Qəfəslə toqquşma prosesində enerjisinin bir hissəsini itirmiş elektron **A** tələsi tərəfindən tutula bilər ki, oradan da o, yenidən keçirici zonaya keçə bilər və s..

Dediklərimizdən aydın olur ki, bu prosesdə tələ ikili rol oynayır. O, həm udulan şüalanma enerjisinin akkumulyasiya edir, həm də parıltı əmələ gəlmə prosesini ləngidir.

Kvazi sərbəst elektron, həm də atom – aktivatorun **B** həyəcanlanmış səviyyəsi tərəfindən tutula bilər. Buradan isə o, foton şüalandırmaqla, atomun əsas **C** səviyyəsinə keçər və deşiklə rekombinasiya edə bilər.

Təsvir olunan bu mexanizm kifayət qədər ləng, mikrosaniyə tərtibində baş verən prosesi xarakterizə edir.

Daha geniş istifadə sahəsi tapmış bəzi ssintilyatorların τ parıltı əmələgəlmə vaxtına, spektrin maksimum λ dalğa uzunluğuna və konversion effektivliyinə dair məlumatlar cədvəl 4.1 -də öz əksini tapmışdır.

Cədvəl 4.1

Bəzi kristal, maye və plastiki ssintilyatorların xarakteristikası

Kristal ssintilyatorlar:	τ , 10^{-9} san	λ , nm	k, %
Antrasen $C_{14}H_{10}$	30	445	4
Stilben $C_{14}H_{12}$	6	410	3
LiJ (Sn)	1200	450	1
NaJ (Ti)	250	410	10
ZnS (Ag)	11	450	2
CsJ (Tl)	700	560	2
Maye ssintilyatorlar:			
- 0.1 q/l miqdarında POPOP əlavə olunmuş p-terfinilin ksilolda məhlulu (5 q/l);	2	350	2
- 0.1 q/l miqdarında POPOP əlavə olunmuş p-terfinilin toluolda məhlulu (4 q/l)	2.7	430	2.5
Plastiki ssintilyatorlar:			
- p-terfinil (0.9 %) və α -NPO (0.05 çəki faizi) əlavə olunmuş polistirol;	2.2	400	1.6
- p-terfinil (3.4 %) və POPOP (0.1 çəki faizi) əlavə olunmuş poliviniltoluol;	3	430	2

Cədvəldən göründüyü kimi, qeyri-üzvi kristalların parıltıvermə vaxtı, üzvi ssintilyatorlarla müqayisədə, 2-3 tərtib yüksək olur. Cədvəldən həmçinin aydın olur ki:

- müxtəlif ssintilyatorlar üçün τ parıltı əmələgəlmə müddəti bir birindən xeyli fərqlənir;
- əksər ssintilyatorların şüalanması spektrin görünən hissəsinə düşür;
- bütün fosforlar üçün k - nın qiyməti çox da böyük olmur və *NaJ(Tl)* kristalı

üçün bu parametirin qiyməti maksimal olur.

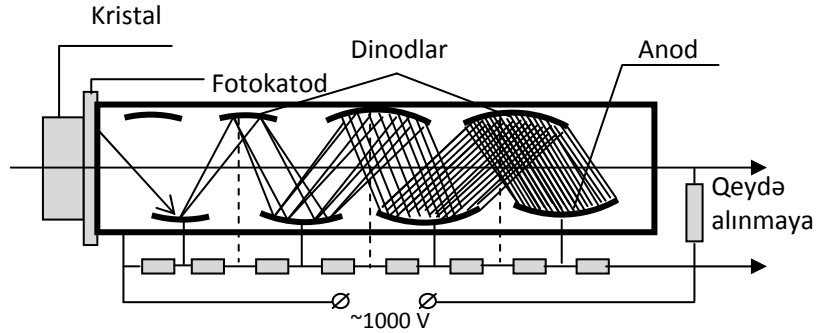
Əgər fərz etsək ki, düşən E enerjili şüanın ssintilyator tərəfindən udulması zamanı m sayda E_f enerjili foton yaranır, onda fotonların sayı üçün

$$m = \frac{E}{E_f} \cdot k$$

şəklində ifadə almış olarıq.

Burada faizlərlə ifadə olunan və konversion effektivlik adlanan k əmsalı - qeydə alınan zərrəciyin enerjisinin işıq enerjisinə çevrilən hissəsini göstərir.

İndi də fotoelektron çoxaldıcının iş prinsipi ilə tanış olaq. Fotoelektron çoxaldıcı fotokatod, anod (kollektor) və aralıq elektrodları olan havası çıxarılmış balondur (şəkil 4.6).



Şəkil 4.6. Ssintilyasiya detektorunun blok-sxemi.

Parıltı fotonları şəffaf pəncərədən keçməklə, fotokatod üzərinə düşür və oradan fotoelektronlar qoparır. Yaranan fotoelektronlar elektrik sahəsinin köməyi ilə sürətləndirilir və fokuslanmaqla, yaxınlıqdakı fotokatodun (dinodun) üzərinə salınır. Dinodun materialının çıxış işi kifayət qədər kiçik olduğundan onun üzərinə düşən elektronlar ondan elektronlar qopara bilirlər (bu elektronlar ikinci elektronlar adlanır).

Hər ilkin elektron dinoddan 3-10 ədəd ikinci elektron qopara bilər. Daha sonra elektronlar elektrik sahəsində birinci dinoddan ikinci dinoda, oradan da üçüncü dinoda və s. istiqamətləndirilir.

Fotoelektron çoxaldıcılarında adətən 10 dənə dinod quraşdırılır. Bu isə fotocərəyanın güclənmə əmsalının 10^6 həddinə çatmasına səbəb olur.

Fotoelektron çoxaldıcılarında yaranan elektronlar seli son nəticədə anoda çatmaqla, radioelektron qurğusunun köməyi ilə qeydə alınan elektrik impulsu yaradır.

Ssintilyasiya sayğaclarının əsas üstünlüyü onların zamana görə yüksək ayırdetmə qabiliyyətinə malik olması, yüklü zərrəciklər üçün $\sim 100\%$ - ə yaxın, γ - kvantlar üçün isə (40 – 50) % - a yaxın yüksək effektivlik göstərməsi və impuls amplitudunun enerjidən xətti asılı olmasıdır.

Qeyd edək ki, üzvi kristalda parıltının intensivliyinin ilkin zərrəciyin enerjisindən asılılığı bir çox hallarda xətti asılılıqdan kənara çıxır. Buna görə də, enerji ölçülməsi üçün qeyri-üzvi kristaldan istifadə daha yaxşı nəticələr verir. Qeyri - üzvi kristala malik detektorlarda enerji ölçülməsi dəqiqliyi bəzi səbəblərə görə 100 keV -dən böyük enerjilər üçün $\sim 10\%$, 10 keV - ə qədər enerjilər üçün isə 50% təşkil edir. Elektronlar və böyük enerjili γ - kvantlar bu halda böyük sıxlığa (3.67 q/sm^3) və nisbətən böyük ölçüyə malik NaI(Tl) kristalının köməyi ilə qeydə alınır.

4.4.3. Ssintilyasiya γ - spektrometrləri. Əvvəlcə γ - şüalanmanın energetik spektrini formalaşdıran proseslər üzərində dayanacaq. Radiasiya ekologiyasının bir çox məsələlərini həll etmək üçün γ - şüalanmanın energetik spektrini qeydə almağa imkan verən γ - spektrometrlərdən istifadə olunur (*Вартанов Н.А., Самойлов П.С., 197;* *Егоров Ю.А., 1967*).

Qamma - spektrometrlərin ən geniş istifadə olunan nümunələrində detektor rolunu qeyri - üzvi kristallar oynayır. Əksər hallarda bu məqsədlə yüksək konversiya effektivliyinə və 3.67 q/sm^3 -ə bərabər yüksək sıxlığa malik NaI(Tl) monokristalından istifadə edilir ki (*box - cədvəl 4.1.*), bunlar da, γ - şüalanmanın maddədə yüksək nüfuzetmə qabiliyyəti baxımından az əhəmiyyət kəsb etmir.

Yada salmaq ki, γ - şüalanmanın maddə ilə (bu halda kristalla) qarşılıqlı təsiri fotoeffektə, kompton effektinə və ion cütünün yaranmasına səbəb olur. Bu effektlər isə, məlum olduğu kimi, γ - kvantın enerjisinin bir hissəsinin elektronlara verilməsi hesabına baş verir. Daha dəqiq desək, fotoeffekt və kompton effektlərində bu enerji təkcə elektronların kinetik enerjisinə çevrilsə, ion cütü yarananda o, həm elektronun, həm də pozitronun kinetik enerjisinə çevrilir. Əgər qarşılıqlı təsir kristalın səthinə yaxın yerdə baş verirsə, belə hallarda elektron özü ilə müəyyən qədər kinetik enerji aparmaqla, kristaldan kənara çıxara bilir. Bu halları çıxmaq şərti ilə digər halların hamısında elektronların kinetik enerjisi ikinci fotonların yaranmasına sərf olunur. Bunlar da, öz növbəsində, enerjilərini elektronlara verməklə, kristalı tərk edə bilirlər.

Qeyd edək ki, fotoelektrik proseslər zamanı yaranan fotonlar rentgen spektrinin aşağı hissəsinə uyğun enerjiyə malik olurlar və praktiki olaraq, bu halda kristal tərəfindən tamamilə udulurlar. Bu prosesdə baş verən ssintilyasiyalar, ssintilyatorun parıltıvermə müddəti ilə müqayisədə çox kiçik müddətdə baş verdiyindən bir-birinin ardınca yaranan mikrossintilyasiyaları zamana görə ayırd etmək mümkün olmur və ona görə də onlar vahid işıq impulsu şəklində qeydə alınır. Beləliklə, fotoelektrik proseslərdə yaranan işıq parıltılarının amplitudu ilkin qamma kvantın tam enerjisinə mütənasib olur (hesab olunur ki, bu hallarda yuxarıda qeyd olunan səth effektləri kifayət qədər kiçikdir).

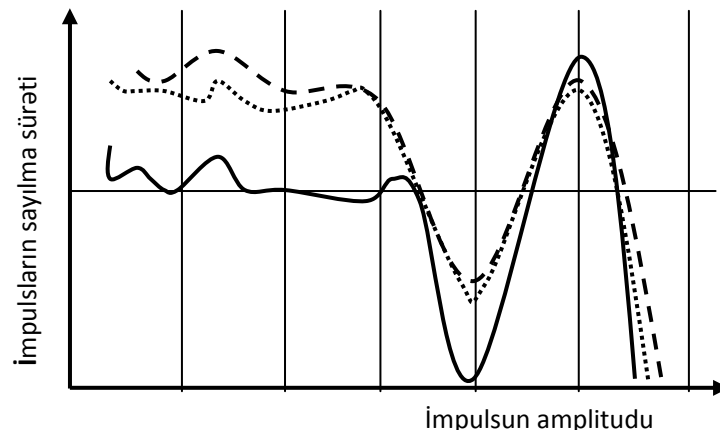
Kompton effekti halında isə enerjinin əksər hissəsi səpilən fotona verilə bilir.

Məlum olduğu kimi, elektron – pozitron cütünün əmələ gəlməsinin enerji həddi 1.02 MeV - ə bərabərdir. Belə ki, cütün əmələ gəlməsinin astana enerjisi elektronun sükunət enerjisinin ikiqat mislinə bərabər olmalıdır (yəni $E = 2m_e c^2 = 2 \cdot 0.51 \text{ MeV} = 1.02 \text{ MeV}$). Buna görə də yaranan elektron – pozitron cütünün tam kinetik enerjisi $E_\gamma = 1.02 \text{ MeV}$ - ə bərabər olacaq. Bu zaman adı çəkilən cütün

annihilyasiyası hər birinin enerjisi 0.51 MeV olan iki fotonun yaranmasına səbəb olacaqdır.

Yalnız kristalın materialının sıxlığı və onun ölçüləri kifayət qədər böyük olduqda, kompton və annihilyasiya şüalanmaları ssintilyatorun hüdudlarından kənara çıxıb bilmir. Kiçik və ya orta ölçülü kristallardan istifadə edilən hallarda isə monoenergetik γ - şüalanmanın əmələ gətirdiyi impulsların amplitud paylanması, həm şüalanmanın tam enerjisinə mütənəsb olan impulslardan, həm də onun yalnız bir hissəsinə uyğun olan impulslardan təşkil olunur. Qeyd edək ki, kristalın ölçüləri böyüdükcə, sonuncuların impuls paylanmasına verdiyi pay da kiçilir.

Dediklərimiz, *seziyum-137* izotopu üçün γ - kvantların yaratdığı impulsların amplitud paylanmasına uyğun əyriyə şəklində, əyani formada şəkil 4.7 - də təsvir edilmişdir. Bu zaman, detektor olaraq, ölçüləri $2.54 \times 3.81 \text{ sm}$ və $7.62 \times 7.62 \text{ sm}$ olan *NaJ(Tl)* monokristallarından istifadə edilmişdir.



Şəkil 4.7 *Seziyum-137* izotopu üçün müxtəlif ölçülü *NaJ(Tl)* kristalları vasitəsilə alınmış γ - kvantların yaratdığı impulsların amplitud paylanmasına uyğun əyriyə şəklində (1 - mənbədən 5 sm məsafədə olan $2.54 \times 3.81 \text{ sm}$ ölçülü kristal; 2 - mənbədən 0.2 sm məsafədə olan $2.54 \times 3.81 \text{ sm}$ ölçülü kristal; mənbədən 3 sm məsafədə olan $7.62 \times 7.62 \text{ sm}$ ölçülü kristal).

Şəkildən göründüyü kimi, kristalın ölçüsü böyüdükcə, sağda yerləşmiş və *seziyum-137* izotopunun 661 keV enerjili γ - kvantlarına uyğun gələn maksimum (fotopik) böyüdüüyü halda, kiçik enerjilərə uyğun impulsların sayı, əksinə, azalır.

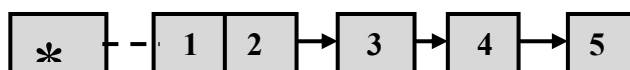
Əyriyə şəklində təsvir edilmişdir. Bu halda cüt əmələgəlməsi mümkün olmur, belə ki, γ - şüalanmanın qeydə alın bilən enerjisi cüt əmələgəlmənin astana enerjisindən

kiçik olur. Bütöv kompton paylanması mövcud olan kiçik maksimum kristaldan çıxan zərrəciklərin əks səpilməsinə uyğun gəlir.

a) **Bir kristallı işıquducu (fotoducu) γ -spektrometr.** Artıq qeyd etdiyimiz kimi, γ - şüaların kristalla qarşılıqlı təsiri fotoeffekt, kompton effekti və elektron-pozitron cütünün yaranmasına səbəb olur. Bu səbəbdən də tətbiqi nüvə fizikasında adı çəkilən hadisələrə əsaslanan üç növ γ -spektrometrlərdən istifadə edilir. Başqa sözlə desək, qarşılıqlı təsirin formasından asılı olaraq, γ - spektrometrlərin işıq udulmasına əsaslanan fotoeffekt γ - spektrometrləri, kompton γ - spektrometrləri, və elektron - pozitron cütünün yaranmasına əsaslanan γ - spektrometrlər kimi növləri vardır (Прайт В., 1964; Барсуков О.А. и др., 1987; Airborne gamma-ray spectrometer surveying. Tech. rep. Ser. No 323 International atomic energy agency (IAEA), Vienna, 1991).

Bir neçə meqa elektron voltdan böyük olmayan enerjili γ - şüalanma spektrlərini qeydə almaq üçün əsasən birinci növə (ışıq udulmasına) aid ssintilyasiyalı γ -spektrometrlərdən istifadə edilir. Əksər radionuklidlərin şüalandırdığı γ - kvantlar təxminən bu qədər enerjiyə malik olduğundan, müxtəlif nümunələrin radionuklid tərkibinin öyrənilməsində bu tip γ - spektrometrlərdən istifadə etmək məqbul hesab edilir.

Bir kristallı işıquducu γ - spektrometrin blok-sxemi şəkil 4.8 - də öz əksini tapmışdır.



Şəkil 4.8. Bir kristallı işıquducu γ -spektrometrin blok-sxemi (* - şüalanma mənbəyidir).

Bu növ γ - spektrometrlərdə kristal və fotoelektron çoxaldıcısında (şəkildə, uyğun olaraq, **1** və **2**) əmələ gələn impulsar **3** qurğusunda gücləndirildikdən sonra **4** amplitud analizatoruna daxil olur.

Amplitud analizatoru impulsar amplitudunun diferensial spektrini ölçməyə, yəni $n=f(A)$ asılılığını müəyyən etməyə imkan verən qurğudur (ifadədə n -impulsaların sayı, A - isə onların amplitududur). Çoxkanallı amplitud analizatorunun hər bir kanalı müəyyən bir amplitud intervalında, yəni A_1 - dən A_2 - ə, A_2 - dən A_3 - ə, ..., A_{m-1} - dən A_m - ə qədər (burada m - kanalların sayıdır) impulsarı qeydə alır. Daha sonra impulsların amplitud paylanması **5** sayğac qurğusunun köməyi ilə qeydə alınır.

Bu tip spektrometrlərin üstün cəhəti onların yüksək effektivliyə malik olmasıdır. Buna sübut olaraq, qeyd edək ki, enerjisi $E = 0.5 \text{ MeV}$ olan γ - kvantların 20 mm qalınlıqlı NaI(Tl) kristalında qeydə alınma effektivliyi 48% - ə bərabər olur. Eyni enerjili γ - kvantların 40 mm qalınlıqlı kristalda qeydə alınma effektivliyi isə 75% - ə qədər olur. Bu qalınlıqlı kristalda hətta 2 MeV enerjili γ - kvantlar da yüksək effektivliklə ($\sim 45\%$) qeydə alınır (Барсуков О.А., Барсуков К.А. , 2003).

Qamma spektrometrlərin dərəcələnməsi üçün nümunəvi γ - şüalanma mənbələri toplusundan istifadə edilir. Məsələn, onlarla kiloelektron volt dan bir neçə meqaelektron volta qədər enerji intervalında dərəcələmə məqsədi ilə ^{73}As ($E_\gamma = 0.054 \text{ MeV}$), ^{203}Hg ($E_\gamma = 0.279 \text{ MeV}$), ^{54}Mn ($E_\gamma = 0.84 \text{ MeV}$), ^{60}Co ($E_\gamma = 1.17 \text{ MeV}$ və 1.32 MeV) və ^{24}Na ($E_\gamma = 1.38 \text{ MeV}$ və 2.76 MeV) kimi γ -şüalanma mənbələrindən istifadə edilir.

Bir kristallı γ -spektrometrin əsas xarakteristik göstəricisi fototöhvə (fotopay) adlanan və $P(E_\gamma) = \frac{S_\phi}{S_\phi + S_k}$ kimi təyin olunan parametrdir.

İfadədə S_ϕ - fotopiklə hüdudlanmış paylanma altında qalan sahə, S_k - isə fotopiki müşayiət edən kəsilməz paylanma altında qalan sahədir (bax -şəkil 3.7).

Fotopikin forması Qaus paylanması əyrisinə uyğun gəldiyindən fotopik altında qalan sahəni

$$S_\phi = H\Delta E \sqrt{\frac{\pi}{4\ln 2}} = 1.064H\Delta E$$

ifadəsinin köməyi ilə asanlıqla hesablamaq mümkündür (Барсуков О.А., Барсуков К.А., 2003).

Burada H – fotopikin maksimal ordinatı, ΔE - fotopikin orta hündürlüyündə enidir.

Bu halda da fotopayın qiyməti γ - kvantların enerjisindən asılı olmalıdır. Təsvir olunan γ - spektrometrlərin ən yaxşı nümunələrində energetik ayırdetmə ($\Delta E/E$) 6 - 7 % - ə çatır.

b) Əks üst-üstə düşmə mühafizəsi olan iki kanallı (iki kristallı) işıquducu (fotouducu) γ -spektrometr. Baxdığımız birkristallı spektrometrin çatışmayan cəhəti ondan ibarətdir ki, alınan spektrdə həmişə bütöv kompton paylanması və bəzən də nəticələrinin təhlilinə maneçilik törədən əlavə piklər olur. Bu baxımdan spektrometrlərin elə yeni variantları işlənilib hazırlanmışdır ki, onlar kompton fonunu kifayət qədər kiçiltməyə, cüt əmələ gəlməsi ilə əlaqədar pikləri isə yox etməyə imkan verir.

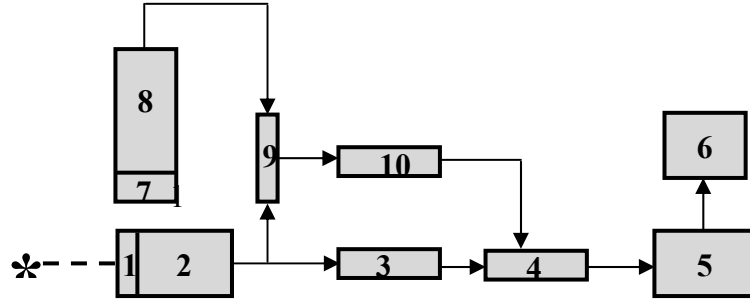
Spektrometrin bu variantı 2 kanallı olub, enerjisi bir neçə kiloelektron volt dan 12 meqaelektron volt - a qədər diapazonda enerjiyə malik olan γ - kvantları 100% effektivliklə qeydə almağa imkan verir (Барсуков О.А., Барсуков К.А., 2003).

Quruluşu sxematik olaraq, şəkil 4.9.-da təsvir edilmiş 2 kanallı spektrometrin iş prinsipi ilə tanış olaq. Spektrometrdə mərkəzi kristal və ya datçik-analizator (1) hər tərəfdən ikinci ssintilyatorla və ya əlavə datçiklə (7) əhatə olunmuşdur. Əlavə datçik, datçik-analizatoru tərk edən γ - şüalanmanı qeydə alır. Bu şüalanma, məlum olduğu kimi, kompton səpilməsinə məruz qalmış fotonlar və yaxud elektron - pozitron cütünün annihilasiyası nəticəsində yaranmış fotonlar şüalanmasıdır. Əgər mərkəzi kristalda yalnız fotoeffekt prosesi baş verərsə, onda bu halda əlavə ssintilyator "işləmir" və datçik - analizatordan gələn impuls (9) əks üst-üstə düşmə sxemi üzrə hərəkət edərək, tənzimləyici vibratoru (10) ağır və son nəticədə (4) elektron açarına

çatır. Digər yolla impuls **(3)** gücləndiricisindən keçməklə hərəkət edir və elektron açarını açır.

Əgər mərkəzi kristalda kompton səpilməsi və cüt əmələ gəlməsi prosesləri baş verərsə onda əks üst - üstə düşmə sxemi işə düşmür, tənzimləyici vibrator bağlı qalır və gücləndiricidən keçən impuls elektron açarını açmır. Bu səbəbdən də spektrin kompton hissəsi 6-10 dəfəyə qədər kiçilir. Təsvir etdiyimiz bu cihaz əks üst-üstə düşmə mühafizəli fotospektrometr adlanır.

Qeyd edək ki, bu gün torpaq və bitki nümunələrinin radionuklid tərkibini müəyyənləşdirmək üçün bu tip γ - radiospektrometrdən geniş istifadə edilir. Bunlardan birinin - "PROGRESS BG" markalı γ -radiospektrometrin iş prinsipi ilə tanış olaq. Rusiyanın "Doza" firmasının istehsalı olan bu radiospektrometrdə



Şəkil 4.9 İkikanallı γ –spektrometrin blok - sxemi (* - şüalanma mənbəyi, 1 – mərkəzi kristal, 2 – fotoelektron çoxaldıcı, 3 – gücləndirici, 4 – elektron açar, 5 – amplitud analizatoru, 6 – sayğac qurğusu 7 – ikinci (əlavə) kristal, 8 – fotoelektron çoxaldıcı, 9 – əks üst - üstə düşmə sxemi, 10 – tənzimləyici vibrator).

detektor rolunu ölçüləri $6.3 \times 6.3 \text{ sm}$ - ə bərabər olan NaI(Tl) kristalı oynayır. Spektrometrin qeydəalma diapazonu $200\text{-}2800 \text{ keV}$ enerji intervalını əhatə edir və radionuklidlərə uyğun γ - spektrlərin işlənməsi xüsusi "Progress" paket proqramı vasitəsilə həyata keçirilir. İşə başlamaq üçün radiospektrometrə kompyuter qoşulur və, "Progress" proqramını işə salmaqla, 40 dəqiqə ərzində parametrlərin stabilləşməsinə nail olunur.

Ssintilyasiya tipində olan bu spektrometrdə qamma–spektrometrik traktın enerjiyə görə dərəcələnməsi, avtomatik olaraq, ^{137}Cs və ^{40}K radionuklidlərinin piklərindən istifadə edilməklə həyata keçirilir. Bu məqsədlə qurğunun kompyuterinə daxil olan ikikomponentli $^{137}\text{Cs} + ^{40}\text{K}$ dərəcələnmə mənbəyindən istifadə edilir.

Daha sonra, boş Marinelli qabı spektrometrin ölçü kamerasında yerləşdirilir və 1 saat müddətində fon spektri çəkilir. Bu əməliyyat bitdikdən sonra cihaz əvvəlki

qayda üzrə yenidən dərəcələnilir. Qeyd edək ki, cihaz hər nümunə analizindən və fon çəkilişindən əvvəl enerjiyə görə dərəcələnməlidir.

Cihazın zərrəcikləri qeydəalma effektivliyinə görə dərəcələnməsi spektrometri istehsal edən müəssisə tərəfindən aparılmışdır. Ona nəzarət isə ikikomponentli $^{137}\text{Cs} + ^{40}\text{K}$ mənbəyi ilə enerjiyə görə dərəcələnmə zamanı ^{137}Cs izotopundan alınan sayma sürətinin qiymətinə görə aparılır ki, bu qiymət də, cihazın pasportundakı göstəricidən 10% - dən çox fərqlənməməlidir.

Dərəcələnmə əməliyyatı başa çatdıqdan sonra nümunə ilə doldurulmuş Marinelli qabı spektrometrdə yerləşdirilir və nümunənin γ - spektri çəkilir. Bu zaman nümunənin kütləsi, növü, Marinelli qabının həcmi və digər zəruri məlumatlar cihazı idarə edən proqrama daxil edilir.

“PROGRESS BG” markalı gamma - beta - spektrometr kompleksinin xarici görünüşü şəkil 4.10 - da göstərilmişdir.



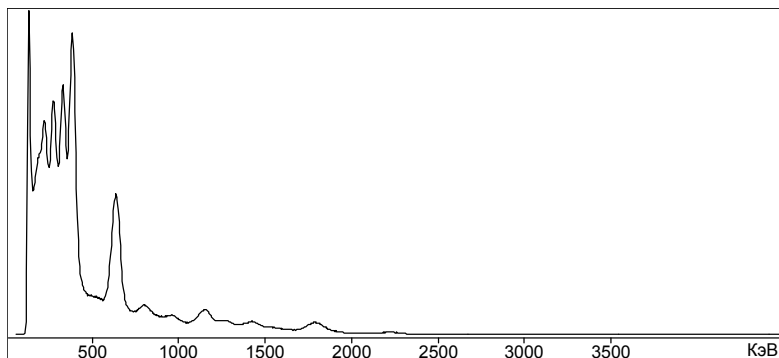
Şəkil 4.10. “PROGRESS BG” markalı gamma - beta - spektrometr kompleksinin xarici görünüşü.

Qeyd edək ki, γ - spektrin çəkilmə müddəti nümunənin aktivliyindən asılı olaraq, müxtəlif ola bilər. Buna görə də, adətən, əvvəlcə kifayət qədər böyük vaxt seçilir və qənaətbəxş siqnal / küy nisbətinə malik spektr yığıldıqdan sonra cihaz dayandırılır. Bu cür hala uyğun tipik spektr şəkil 4.11 - da göstərilmişdir.

Alınmış spekt növbəti mərhələdə avtomatik emal edilir. “Progress” proqramında ssintilyasiya spektrinin matris üsulu ilə emalından istifadə edilir ki, bu da, adi ənənəvi üsulla müqayisədə, pikləri bir-birini örtən radionuklidlərin aktivliyini daha dəqiq təyin etməyə imkan verir. Daha sonra, qeydə alınan radionuklidlərin xüsusi

aktivliyi daxil edilmiş proqram əsasında hesablanır. Xüsusi aktivliyinin ölçmə xətası ölçülən kəmiyyətin $\pm (20-30) \%$ təşkil edir.

4.4.4. Ssintilyasiya β - spektrometrləri. Maye ssintilyatorlar. Zərrəciklərin həyəcanlanmasına əsaslanmış qeydəalma üsulları. Radioaktiv şüalanmanın təsiri ilə bəzi maddələrin işıq saçması – flüoressensiya etməsi haqqında əvvəlki paragraflarda söhbət açmışdıq. Radiasiyanın yaratdığı flüoressensiya ssintilyasiya adlanır. Bu zaman ssintilyatorada yaranan işığı fotogücləndiricinin



Наименование показателя, ед. измерения.	Результат измерений
Активность ^{40}K , Бк/кг	8244,00 \pm 2122,00
Активность ^{232}Th , Бк/кг	4503,00 \pm 556,00
Активность ^{226}Ra , Бк/кг	48990,00 \pm 5035,00

Şəkil 4.11. Nümunələrin radionuklid tərkibinə dair tipik γ - spektr.

köməyi ilə qeydə almaqla, radioaktiv şüalanmanı ölçmək mümkündür. Məlum olduğu kimi, fotogücləndiricilər işıq enerjisini düşən işığın intensivliyinə mütənasib olaraq, elektrik siqnallarına çevirir. Ssintilyatorun işıq əmələ gətirməsi isə, öz novbəsində, radioaktiv şüalanmanın enerjisi ilə müəyən edilir. Qeydə alınan elektrik siqnallarının radioaktiv parçalanmanın enerjisi ilə bilavasitə əlaqədar olması ssintilyasiya sayğaclarının, Heyger-Müller sayğacları ilə müqayisədə, üstünlüyə malik olmasını göstərir.

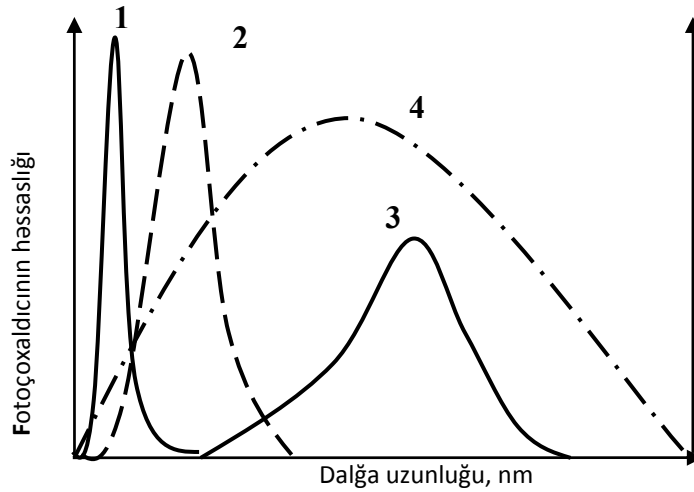
Radioaktiv şüalanmanın bərk ssintilyatorla qeydə alınması haqqında yuxarıdakı paragraflarda ətraflı məlumat vermişdik. Qeyd edək ki, bərk ssintilyatorlu sayğaclarada radioaktiv nümunə kristal flüoressensiyaedici maddənin bilavasitə yaxınlığında yerləşdirilir. Bu zaman γ - şüalanmanı qeydə almaq üçün, adətən, NaI - dan, α - zərrəcikləri qeydə almaq üçün sink - sulfiddən, β -radioaktivlik üçün isə antrasen kimi üzvi ssintilyatorlardan istifadə edirlər. Bu halda ssintilyatorun özü

fotogücləndiricinin yanında yerləşdirilir və fotogücləndiricidən alınan siqnallar qeydəalma qurğusunun üzərinə düşür.

Qeyd edək ki, bərk ssintilyatorlu sayğaqlardan əsasən γ - şüalanmanı qeydə almaq üçün istifadə edilir.

Bu gün radioaktiv şüalanmanın maye ssintilyatorlarda qeydə alınmasından da geniş istifadə edilir. Bu üsul bioloji tədqiqatlarda istifadə olunan 3H , ^{14}C və ^{35}S kimi izotopların yaratdığı "yumşaq" β - şüalanmanı qeydə almaq üçün əvəzolunmaz üsul hesab olunur. Maye ssintilyatorlu sayğaqlarda nümunə uyğun ssintilyatora malik mayədə yerləşdirilir.

Maye ssintilyatorların iş prinsipi aşağıdakı kimidir. Radioaktiv parçalanma məhsulları olan zərrəciklərin üzvi məhlulun molekullarını bombardman etməsi bəzi molekulların flüoressensiya etməsinə səbəb olur. Bu halda yaranan flüoressensiya parıltısı, adətən, çox kiçik dalğa uzunluğuna malik olduğundan, fotogücləndirici onları kiçik effektivliklə qeydə alır (şəkil 4.12.)



Şəkil 4.12. Müxtəlif flüoroforların şüalanma spektrləri və onların fotogücləndiricinin həssaslığı ilə əlaqəsi (1- məhlul, 2- PPO, 3- POPOP, 4- fotogücləndiricinin həssaslığı).

Əgər üzvi məhlula, molekulları məhlulun şüalandırdığı işığı udmaqla, daha böyük dalğa uzunluqlu flüoressensiya yaradan maddə əlavə etsək, onda belə qarışıqın flüoressensiyasını nisbətən böyük effektivliklə qeydə almaq olar. İlkin flüorofor adlanan belə birləşmə olaraq, bir qayda olaraq, 2.5 - *difeniloksazol* - dan (PPO) istifadə edilir.

Bundan da yüksək effektivliklə qeydəalma üçün məhlula daha böyük dalğa uzunluqlu flüoressensiya yaradan ikinci flüorofor da əlavə edilir. Bu məqsədlə POPOP adlanan 1.4 - di - [-2 (5 - feniloksazoil)] - benzol maddəsindən istifadə edilir. Son nəticədə aşağıda göstərilən formada enerji ötürülməsi baş verir:

radioaktiv şüalanma → məhlul → həyəcanlanmış məhlul → ilkin flüorofor → ilkin həyəcanlanmış flüorofor → ikinci flüorofor → həyəcanlanmış ikinci flüorofor → işıq.

Ssintilyasiya sayğaçlarından çox geniş formada bioloji tədqiqatlarda istifadə olunması onun Heyger- Müllər sayğaçlarından böyük üstünlüyə malik olmasından xəbər verir.

Ssintilyasiya sayğaçlarının Heyger - Müllər sayğaçlarından əsas üstünlükləri üzərində dayanaq:

1) Flüoroforda parıltı yaranması müddəti Heyger - Müllər sayğacının "ölü vaxtından" dəfələrlə kiçikdir ki, bu da, aydındır ki, qeydəalma sürətinin çox böyük olması deməkdir;

2) Maye ssintilyatorada kiçik enerjili β - zərrəciklər halında qeydəalma effektivliyi çox yüksək olur. Məsələn, Heyger sayğacında tritium izotopunun parçalanması 5 % - dən çox olmayan effektivliklə qeydə alınarsa, maye sayğaçlarında bu rəqəm 50 % təşkil edir;

3) Ssintilyasiya sayğacında maye, bərk cisim, suspenziya, emulsiya, gel və xromatoqrama kimi istənilən nümunənin radioaktivliyini ölçmək olur. Heyger sayğacında isə hər bir hal üçün müəyyən növ borucuqdan istifadə etmək lazım gəlir;

4) Ssintilyasiya sayğaçları üçün nümunələrin hazırlanması böyük çətinlik yaratmır;

5) Ssintilyasiya sayğaçlarında nümunədə olan bir neçə müxtəlif izotopun ayrılıqda radioaktivliyini təyin etmək olur. Heyger sayğacı isə buna imkan vermir.

4.4.4.1. Maye ssintilyasiya sayğaçlarında radioaktiv preparatların hazırlanması və radioaktivliyin qeydə alınması qaydaları. Bioloji preparatların solibilizə edilməsi. Dediklərimizdən aydın olur ki, maye ssintilyatorlarda preparatların radioaktivliyini ölçmək üçün onları şəffaf maye halına salmaq lazımdır. Bu, ssintilyatorlarda yaranan işıq parıltılarının qeydə alınması üçün lazımdır. Adətən, bioloji obyektləri (hüceyrə və onun ayrı-ayrı komponentlərini, mikroorqanizmləri, reaksiya qarışığında çökmüş zülal və nuklein turşularını) su məhluluna köçürmək çətin olur. Bunun üçün ali quruluşu dağıtmaq və biopolimerlərin dərin hidrolizini aparmaq tələb olunur. Aydındır ki, bu formada soliblizə prosesi radioaktivliyi ölçmədən əvvəl aparılmalıdır.

Çox sadə soliblizə üsulu bioloji preparatların 1 - 4 saat müddətində 70°C temperaturda 5M KOH məhlulunda işlənməsi üsuludur. Bu halda preparat tamamilə şəffaf maye halına düşür. Məhlul soyudulub, neytrallaşdırıldıqdan sonra maye ssintilyatora tökülür və ölçü işləri aparılır.

Təklif olunan formada isti qələvi hidroliz üsulu, sadə və ucuz başa gələn üsul olmasına baxmayaraq, bəzi hallarda bioloji preparatın tam həll olmasına nail olmaq

olmur. Buna görə də, zülalları, nuklein turşularını, polisaxaridləri, dimetilsulfoksiddə həll etmək daha yaxşı nəticələr verir.

Bioloji preparatların soliblizə edilməsi üçün aktiv oksidləşmə üsulundan da istifadə edilir. Məsələn, 100 mq heyvan toxumasını 60% -li $HClO_4$ və 30% - li H_2O_2 qarışığında 70 - 80^oS temperaturda 1-2 saat müddətində tamamilə həll etmək olur.

4.4.4.2. Maye ssintilyatorlar. Dioksan əsaslı ssintilyatorlar. Yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi, β - şüalanmanın qeydə alınması üçün β - zərrəciklərin öz enerjilərini bilavasitə verə biləcəyi məhlul olmalıdır. Adətən bu məqsədlə naftalinin dioksanda məhlulundan istifadə edilir. Məhlula müəyyən miqdarda PPO və POPOP əlavə olunur. Ssintilyatorun əsas kütləsini təşkil edən dioksan istənilən nisbətdə su ilə qarışdırılır. Bu halda nəzərə almaq lazımdır ki, su qarışığı naftalinin dioksanda həll olunmasını çətinləşdirir. Buna görə də, naftalinin yaxşı həllolunmasına nail olmaq üçün məhlula metanol və etilen-qlikol əlavə etmək lazım gəlir.

Dioksan əsasında hazırlanmış ssintilyatorlardan ikisinin hazırlanma resepti ilə tanış olaq:

1) 100 ml metanol və 20 ml etilen-qlikol qarışığına 60 q naftalin, 4 q PPO, 0.2 q POPOP əlavə edib, məhlulun həcmi dioksanla 1 l - ə çatdırmaq lazımdır (bu üsulla hazırlanmış ssintilyator Brey məhlulu adlanır). 10 ml Brey ssintilyatoruna radioaktivliyi ölçüləcək preparatın 2 ml su məhlulunu əlavə etməklə ölçü işi aparılır. Bu ssintilyatorada tritium üçün ölçmə effektivliyi 30 % , ^{14}C üçün isə - 85 % təşkil edir;

2) 1 l həcmli dioksana 100 q naftalin, 7 q PPO və 0.3 q POPOP əlavə etməklə, daha yüksək ölçmə effektivliyinə malik ssintilyator hazırlamaq mümkündür. 10 ml ssintilyatora preparatın 2 ml sulu məhlulunu əlavə etməklə, tritiumun ölçmə effektivliyini 35 % - ə , ^{14}C izotopunun ölçmə effektivliyini isə 90 % - ə çatdırmaq mümkündür.

Qeyd edək ki, dioksan və naftalinin yüksək kimyəvi təmizliyi radioaktiv ölçmə işlərinin dəqiqliyini təmin edən amillər olduğundan, ssintilyator hazırlamaq üçün kimyəvi cəhətdən kifayət qədər təmiz (sublimasiya edilmiş) naftalin götürülməli və yüksək təmizlik dərəcəsi olan "ssintilyasiya" markalı dioksandən istifadə edilməlidir. Adi dioksandən istifadə zamanı onun təmizliyi, yəni tərkibində peroksidin olub-olmaması mütləq yoxlanılmalıdır. Bunun üçün 0.5 l dioksana kalium yodun 1 ml sulu məhlulunu, 20 % - li HCl -un 0.5 ml məhlulunu və bir neçə dancı nişasta məhlulunu əlavə etmək lazımdır. Peroksid qarışığı olan halda bu məhlul göy rəng alır.

Peroksidən təmizləmək üçün 2 l dioksan götürüb, əks soyuducuda 1 saat müddətində 10-15 q $SnCl_4$ üzərində qaynatmaq lazımdır. Sonra peroksidin olması yuxarıdakı qayda üzrə yenidən yoxlanılır və lazım gələrsə, yenidən 5 q $SnCl_4$ əlavə edib, 30 dəq yenə qaynatmaq lazımdır. Qeyd edək ki, son illər bir çox firmalar hazır ssintilyatorlar buraxmağa başlamışlar.

4.4.5. Yarımkeçirici sayğaclar. Məlum olduğu kimi, müxtəlif şüalanmanın (o cümlədən də, radioaktiv şüalanmanın) təsiri ilə yarımkeçiricilərin həcmində yükdaşıyıcıların konsentrasiyası artır və onların keçiriciliyi dəyişir. Bu əsasda işləyən cihazlar fotorezistorlar adlanır. Fotorezistorlar, işığa həssas təbəqənin materialından,

onun hazırlanma texnologiyasından asılı olaraq, müxtəlif spektral xüsusiyyətlərə malik olurlar. Kadmium sulfid fotorezistorları təkcə spektrin görünən oblastına deyil, həm də yaxın infraqırmızı oblasta da yüksək həssaslıq göstərir. Qurğuşun sulfid fotorezistorlarında isə həssaslığın maksimumu spektrin infraqırmızı oblastına düşür.

Nüfuzedic şüalanma datçikləri. Əvvəlcə son illərə qədər geniş istifadə olunan detektorlar - datçiklər üzərində dayanır. Bunlara misal olaraq, Rusiya və Belarusiya istehsalı olan *RQD-0* və *RQD-1* tipli rentgen - datçiklərini və *RQD-2* və *RQD-Q1* tipli γ - datçikləri göstərmək olar. *QD-Q1* datçiklərinin əsasını polikristallik kadmium selen təbəqə, qalanlarının əsasını isə kadmium sulfid təbəqə təşkil edir. *RQD* və *QD* tipli rentgen və γ - datçiklərinin əsas çatışmayan cəhətləri onların böyük ətalətliliyə malik olmalarıdır. Bu çatışmazlıq özünü daha çox şüalanma intensivliyi kiçik olan hallarda biruzə verir. Məsələn, γ - datçiklərin ətalətlilik sabiti şüalanma gücü *5 R/saat* olan halda saniyənin onda birinə bərabər olur. Qeyd edək ki, datçiklərin ətalətliliyi əhəmiyyətli dərəcədə şüalanma dozasının gücündən və ətraf mühitin temperaturundan asılıdır. Şüalanma dozasının gücü artdıqca, vaxt sabiti azalır. Şüalanma intensivliyi *0.5 R/saat* - dan kiçik olanda vaxt sabiti *10 dəqiqəyə* bərabər olduğu halda, *6000 R/saat* olan halda isə həmin parametr saniyənin onda birindən böyük olur.

Yarımkeçirici detektorların üstünlükləri onların yüksək qeydəalma effektivliyinə, kiçik ölçülərə (diametri – *10 - 20 mm*, qalınlığı – *2 - 5 mm*), kiçik kütləyə (*5 - 10 q*) və nisbətən kiçik elektrik gərginliyinə (*15 - 100 V*) malik olmalarıdır. Yüksək qiymətə malik olmaları isə yarımkeçirici detektorların dozimetrik cihazlarda istifadəsini xeyli məhdudlaşdırır. Yarımkeçirici detektorlar hazırlamaq üçün üç və ya beş valent elektronlu aşqar atomlara malik dörd valentli silisium və ya germanium yarımkeçiricilərdən istifadə edilir. Fərz edək ki, bu cür yarımkeçiricinin atomlarından biri beş valentli atomla (məsələn, fosforla) əvəz olunmuşdur. Bu halda aşqar atomunun valent elektronlarından dördü qonşu atomlarla rəbitə yaratmaqda iştirak edəcək, beşinci elektron isə sərbəst elektrona çevriləcək.

Məlum olduğu kimi, bu cür aşqara malik yarımkeçirici *n* - tip yarımkeçirici adlanır. Elektron verən aşqar atom isə donor atom adlanır.

İndi də fərz edək ki, silisium və ya germanium kristalında atomlardan biri üç valentli aşqar atomu ilə (məsələn, bor atomu ilə) əvəz olunmuşdur. Bu halda isə son nəticədə müsbət yükə malik vakant yerlər - deşiklər yaranır. Belə aşqara malik yarımkeçiricilər *p* - tip yarımkeçiricilər, elektron alan aşqar atom isə akseptor atom adlanır.

Yarımkeçirici detektorun iş prinsipi ilə tanış olaq. Hesab edək ki, zəif aşqarlanmış *p* - tip kristalın səthinə güclü aşqarlanmış *n* - tip yarımkeçiricidən təbəqə çəkilməmişdir. Belə olan halda elektronlar *n* - tip kristaldan *p* - tip kristalına, deşiklər isə, əksinə, *p* - tiptən *n* - tiyə diffuziya edəcəklər. Nəticədə *n* - tip müsbət, *p* - tip isə mənfi yüklənməyə başlayacaq. Bu proses o zamana qədər davam edəcək ki, *n* - kristalı tərəfində hərəkətsiz müsbət ionlar – donorlar təbəqəsi, *p* - kristalı tərəfində isə hərəkətsiz mənfi ionlar – akseptorlar təbəqəsi yaransın (şəkil 4.13 a). Bununla da,

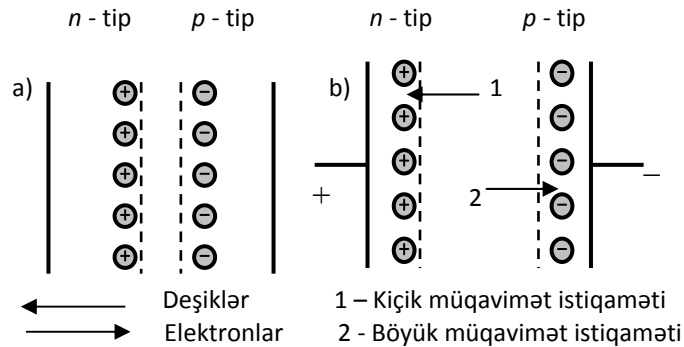
yarımkeçiricilərin sərhəddində ikiqat yüklü keçid təbəqəsi - ($p-n$) keçidi təbəqəsi yaranacaq.

Donor və akseptor təbəqələri arasında müəyyən elektrik sahəsi yarandığından, bu sistemi ionlaşdırıcı kameranın analoqu kimi qəbul etmək olar. Mikrometr tərtibində kiçik qalınlığa və böyük ekvivalent tutuma malik olduğundan, belə sistem detektor kimi istifadəyə yaramır. Belə ki, böyük ekvivalent həcm siqalın amplitudunu əhəmiyyətli dərəcədə kiçildir və ona görə də siqalın qeydə almaq mümkün olmur.

Əgər sistem xarici gərginlik sahəsinə şəkildə göstərilədiyi kimi, yəni n -sahəsi cərəyan mənbəyinin müsbət qütbünə, p - sahəsinə isə mənfi qütbünə qoşularsa (bu formada qoşulma əks qoşulma adlanır), onda xarici gərginlik ikiqat təbəqənin potensialına müəyyən mənada "kömək" edərək, keçid sahəsindən sərbəst yükdaşıyıcıları kənarlaşdırmağa, yəni sahəni yüksüzləşdirməyə çalışacaq. Bundan başqa, əks gərginliyin təsiri ilə yüksüzləşdirilmiş təbəqənin eni də böyüyəcək (şəkil 4.13 b).

Yada salaq ki, ($p-n$) keçidində p -kristal zəif aşqarlandığından onun müqaviməti nisbətən böyük olur. Bu səbəbdən də, tətbiq olunmuş bütün əks gərginlik, demək olar ki, yüksəkumlu p -sahəsinə düşəcək və yüksüzləşdirilmiş təbəqə ona tərəf yayılaraq, enini $0.1 - 1mm$ - ə çatdıracaq.

Bu halda yüksüzləşdirilmiş təbəqə yarımkeçirici detektorun işçi həcmi rolunu oynayır. Ona görə də, yüksüzləşdirilmiş təbəqəyə daxil olan yüklü zərrəcik elektron-deşik cütü yaradacaq.



Şəkil 4.13. İkiqat yüklü keçid təbəqəsinin sxemi: a) xarici gərginlik verilənə qədər; b) əks gərginlik qoşulandan sonra.

Əmələ gələn yüklər tez bir zamanda ikiqat təbəqənin elektrik sahəsinin təsiri ilə yüksüzləşdirilmiş sahədən kənarlaşdırılacaq və onların elektrodla çatması isə

dövrədə elektrik impulsu yaradacaq. Bu proses elektron və deşiklərin rekombinasiyası ilə sona çatacaq.

Göründüyü kimi, yarımkeçirici detektor ionlaşdırıcı kameranın oynadığı rolu oynayır. Fərq yalnız ondan ibarətdir ki, işçi mühit qaz deyil, bərk maddədir. İkinci əsas fərq isə, bu halda orta ionlaşma enerjisinin bir tərtib kiçik olması hesabına zərrəciyin qeydə alınmasına uyğun impulsun bir tərtib böyük olmasıdır. Bu isə qeydə alınmanı asanlaşdırır və ölçmə dəqiqliyini artırır.

Yarımkeçirici sayğacın ayırdetmə müddəti 10^{-7} saniyədir. Sayğac həm də yüksək energetik ayırdetməyə malikdir.

Yarımkeçirici sayğacların əsas çatışmayan cəhəti onların işçi həcmələrinin kiçik qalınlığa malik olmalarıdır ki, bu da yüksəkenerjili zərrəcikləri qeydə almağa imkan vermir. Buna baxmayaraq, bu sayğaclar nisbətən kiçik enerjili zərrəcikləri (2 MeV -ə qədər enerjili elektronları, 20 MeV -ə qədər enerjili protonları), demək olar ki, 100% effektivliklə və kifayət qədər yaxşı ayırdetmə vaxtı ilə qeydə almağa imkan verir. Bundan başqa, yarımkeçirici detektorlar digər tip detektorları ölçmə dəqiqliyinə və yığıcamlığına görə də çox üstələyir.

Qeyd edək ki, otaq temperaturunda ölçmələr üçün soyudulması tələb olunmayan silisium detektorlarından istifadə olunması yaxşı nəticələr verir. Belə şəraitdə germanium detektoru yüksək küy səviyyəsinə malik olduğundan, onun ölçmə zamanı çox aşağı temperaturlara qədər soyudulması tələb olunur. Digər tərəfdən, silisiumda yüklü zərrəciklərin qaçış yolu, germaniumla müqayisədə, daha böyükdür. Bu, silisiumun kiçik sıxlığa malik olması ilə əlaqədardır.

Yarımkeçirici detektorlardan datçik kimi, həm də γ - spektrometrlərdə istifadə olunur.

4.5. Neytronların qeydə alınma üsulları

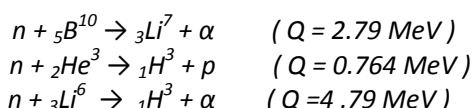
4.5.1. Neytronların qeydə alınması üsulları haqqında ümumi təsəvvürlər.

Neytronların qeydə alınmasına dair işlənilmiş üsulların, demək olar ki, hamısının əsasında bu qəbildən olan ağır, yüksüz zərrəciklərin detektor maddəsi ilə qarşılıqlı təsiri zamanı yüklü zərrəciklərin və γ - kvantların yaranması, onların isə yuxarıda təsvir olunmuş üsulların biri ilə qeydə alınması dayanır. Qeyd edək ki, bu formada ikipilləli detektətmə prosesi neytronların qeydə alınmasını, yüklü zərrəciklərin qeydə alınması ilə müqayisədə, xeyli çətinləşdirir. Bu səbəbdən də neytronların qeydə alınma effektivliyi çox kiçik (bəzən hətta bir neçə faiz) olur. Yada salmaq ki, yüklü zərrəciklər üçün qeydə alınma effektivliyi adətən 100% - ə yaxın olur.

Neytronların qeydə alınması üçün, bir qayda olaraq, ya onların hidrogen və helium kimi yüngül nüvələrdə elastiki səpilməsindən, ya da onların yaratdığı nüvə reaksiyalarından istifadə edilir.

Kiçik sürətli və istilik neytronlarını qeydə almaq, sürətli neytronlara nisbətən asan olur. Buna görə də, kiçik və böyük enerjili neytronların qeydə alınması üsulları bir-birindən fərqlənir. Bu üsullarla ayrı-ayrılıqda tanış olaq.

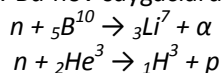
4.5.2. Kiçik enerjili və istilik neytronları sayğacları. İstilik neytronlarını qeydə almaq üçün



kimi ekzoenergetik reaksiyalardan və yaxud da neytronların ${}_{92}U^{235}$, ${}_{94}Pu^{239}$ və s. kimi ağır izotoplarla reaksiyalarından istifadə olunur. Bu halda əmələ gələn ikinci zərrəcikləri qeydə almaq üçün ionlaşdırıcı kamera, proporsional və ssintilyasiya sayğaclarından istifadə oluna bilər. Heyger-Müller sayğaclarından bu məqsədlə istifadə edilə bilməz, çünki bu halda neytronlara uyğun impulsarı fon impulslarından ayırmaq mümkün olmur.

Hal-hazırkı dövrdə 3 növ neytron sayğacından istifadə edilir. Birinci növə ${}_5B^{10}$, ${}_2He^3$ və yaxud da ${}_3Li^6$ izotoplarına malik proporsional sayğaclar, ikinci növə adları çəkilən izotoplardan birinə malik ssintilyasiya sayğacları, üçüncü növə isə bölücü kamera aid edilir.

Neytron sayğaclarından ən geniş yayılanı BF_3 və ya ${}_2He^3$ qazı ilə doldurulmuş proporsional sayğaclarıdır. Bu növ sayğaclarıda kameraya daxil olmuş neytronun təsiri ilə



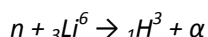
kimi reaksiyalar baş verir.

Birinci reaksiyanın məhsulları olan ${}_3Li^7$ və α - zərrəciklər də, öz növbəsində, qazı ionlaşdırmaqla, detektorun çıxışında elektron sxeminin qeydə aldığı elektrik impulsu yaradırlar.

${}_2He^3$ ilə aparılan reaksiyanın enerjisi çox da böyük olmadığından ($Q = 0.764 \text{ MeV}$), bu əsasda işləyən sayğaclar 0.1 MeV -dən bir neçə MeV - ə qədər enerjili neytronları qeydə almağa imkan verir. Bu zaman neytronun enerjisinin hər bir W qiymətinə enerjisi $W+0.764 \text{ MeV}$ olan proton uyğun gəlir.

Helium (${}_2He^3$) qazı ilə doldurulmuş sayğaclarıda istilik neytronlarının qeydə alınma effektivliyinin $\sim 80\%$ - ə bərabər olmasına baxmayaraq, bu sayğacların bor (${}_5B^{10}$) sayğaclarından fərqi yüklü zərrəciklər və γ - kvantlar üçün yüksək fona malik olmasıdır.

Neytronların qeydə alınması üçün həm də talliumla aktivləşmiş LiI kristalına malik ssintilyasiya sayğaclarından istifadə edilir. Bu halda neytronların təsiri ilə kristalda



reaksiyası baş verir və reaksiya nəticəsində yaranan məhsullar ssintilyasiya sayğacları üçün qəbul olunmuş üsulla qeydə alınır.

Tərkibinə ${}_5B^{10}$ və yaxud da ${}_{92}U^{235}$ izotopu daxil edilmiş digər ssintilyatorlardan da istifadə edilir.

α - zərrəciklərin və digər ağır zərrəciklərin bərk maddədə qaçış yolu az olduğundan, yüksək qeydə alınma effektivliyinin ($\sim 50\%$) saxlanılması şərti ilə ssintilyasiya sayğaclarının ölçülərini kifayət qədər kiçiltmək olur.

LiJ əsasında işləyən bu tip sayğacların çatışmayan cəhəti onların γ - şüalanmaya da həssas olması və LiJ kristallarının hiqroskopik olmasıdır.

Qeyd edək ki, kiçik sürətli və istilik neytronlarını qeydə almaq üçün istifadə olunan bölücü kamera adi ionlaşdırıcı kameradır. Sadəcə olaraq, bu kameranın elektrodları üzərinə ${}_{92}U^{235}$ izotopu ilə zənginləşdirilmiş uran tərkibli maddədən nazik təbəqə çəkilmişdir. Kamerada sürəti azalmış neytronlar ${}_{92}U^{235}$ izotopunun parçalanmasını həyata keçirir. Daha dəqiq desək, kiçik sürətli neytronları tutan ${}_{92}U^{235}$ izotopu müxtəlif kütləli iki qəlpəyə parçalanır. Bu zaman ən ehtimalı bölünmə nəticəsində kütlə ədədləri $A=95$ və $A=139$ olan qəlpələr yaranır ($Z_1=38, W_1=99 MeV$; $Z_2=54, W_2=67 MeV$). Yaranmış qəlpələrin ionlaşdırma qabiliyyəti isə, α - zərrəciklər və elektronlarla müqayisədə, əhəmiyyətli dərəcədə yüksək olur. Buna görə də, detektorun çıxışında impulsların amplitudu o qədər böyük olur ki, bu da, onları çox etibarlı şəkildə qeydə almağa imkan verir.

Bölücü kameranın üstün cəhəti, hətta intensiv β -, γ - şüalanma fonu şəraitində, neytronları qeydə almaq qabiliyyətinin olmasıdır.

4.5.3. Sürətli neytronlar sayğacı. Sürətli neytronları qeydə almaq üçün proton təpməsi hadisəsindən istifadə edilir. Bu hadisənin əsasında toqquşma nəticəsində neytronun enerjisinin protona verilməsi durur. Bu səbəbdən də, protonun enerjisini və impulsunu bilməklə, neytronun olması və onun enerjisi haqqında qərar vermək olur. Təpmə protonları qeydə almaq üçün isə ionlaşdırıcı kameradan və ya proporsional sayğaclardan istifadə edilir.

Aydın ki, bu üsuldən o zaman istifadə etmək olar ki, detektor hidrogen tərkibli maddəyə malik olsun. Məsələn, proporsional sayğaclardan neytronları qeydə almaq üçün istifadə edəndə sayğac hidrogenlə doldurulur.

Yavaş neytronları qeydə almaq nisbətən asan olduğundan, bəzi hallarda sürətli neytronları qeydə almaq üçün də yavaş neytronlar detektorundan istifadə olunur, lakin bu halda detektor sürətli neytronları yavaşdan maddə ilə örtülür.

4.6. Radiasiya nəzarəti cihazları

Radiasiya təhlükəsizliyi sahəsində istifadə olunan cihazları bir çox əlamətlərinə əsasən siniflərə ayırmaq olur. Məlum olduğu kimi, radionuklidlərdən xalq təsərrüfatının, demək olar ki, bütün sahələrində müxtəlif məqsədlər üçün istifadə edilir. Bu səbəbdən də, müxtəlif təyinatlı radiasiya nəzarəti cihazları (indikatorlar, rentgenmetrlər, radiometrlər, dozimetrlər, spektrometrlər və ionlaşdırıcı şüalanmanı ölçən kombinasiya cihazları) yaradılmışdır.

4.6.1. Indikatorlar. Indikatorlardan, sadə radiasiya kəşfiyyatı xarakterli cihazlar olaraq, əsasən γ - və β - şüalanmaları qeydə almaq üçün istifadə edilir. Bu cihazlar səs signalı ilə təchiz olunmuşlar və onlarda datçik rolunu Heyger - Müller qazboşalması sayğacı oynayır. Bu qəbildən olan cihazlara $DP - 63, DP - 63A, DP - 64$ tipli indikatorlar aiddirlər.

Daha geniş istifadə olunan $DP - 64$ tipli indikator - signalizatorun ərazinin

radioaktiv çirklənməsinin daimi manitorinqini aparmaq üçün istifadə edilir. Cihaz izləmə rejimində işləyir və ərazidə şüalanma dozasının gücü $0.2 R/saat$ - a çatan anda səs və işıq siqnalları yaradır. Datçiklərdə ionlaşdırıcı şüalanma detektoru rolunu STS-5 tipli qazboşalması sayğacı oynayır.

4.6.2. Rentgenmetrlər. Rentgenmetrlərdən *rentgen* və γ - şüalanma dozasının gücünü ölçmək üçün istifadə edilir. Bu cihazlarda datçik rolunu ionlaşdırıcı kamera və ya qazboşalması sayğacı oynayır.

Rentgenmetrlərə misal olaraq, "Kaktus", DP - 2, DP - 3, DP - 3B, DP - 5A, DP - 5B kimi cihazları göstərmək olar. Bunların bir neçəsi ilə qısa tanış olaq.

DP - 3 tipli rentgenmetrdən radiasiya kəşfiyyatı aparən zaman ərazinin şüalanma dozasını ölçmək üçün istifadə edilir. Cihazın ölçmə diapazonu $0.1 - 500 R/saat$ intervalında dəyişir.

PMRR - 1 tipli əldəgəzdirilən (portativ) mikro rentgenmetrlərdən səhiyyə təşkilatlarında istifadə edilir. Bu cihazın ölçmə diapazonu $0 - 18 R/saat$ - a qədərdir.

RP - 1 tipli əldəgəzdirilən rentgenmetrdən klinik şəraitlərdə *rentgen* və γ - şüalanmanın doza gücünü ölçmək, həmçinin də dozimetrik cihazları yoxlamaq üçün istifadə edilir. Cihazın ölçmə diapazonu $0.1 - 36 R/saat$ intervalında dəyişir.

"Kaktus" tipli stasionar rentgenmetrdən səhiyyə təşkilatlarında γ -şüalanmanın doza gücünü ölçmək üçün istifadə edilir. Cihazın ölçmə diapazonu $0 - 72 R/saat$ - a bərabərdir.

4.6.3. Dozimetrylər. Məlum olduğu kimi, dozimetriyada istifadə olunan cihazları dozimetrlərə və radiometrlərə bölürlər.

Dozimetrylərdən ionlaşdırıcı şüalanmanın ekspozisiya, udulma, ekvivalent dozalarını və udulma dozasının gücünü ölçmək üçün istifadə edilir. Dozimetryrik cihaz olaraq, ən çox ssintilyasiya tipli sayğaclardan istifadə olunur ki, bunlarda da şüalanma dozası fotogücləndiricidə yaranan cərəyanın əsasında müəyyənləşdirilir.

Fərdi dozimetrlər – kiçik ölçülü ionlaşma kameraları və ya foto lövhəsi olan fotokassetlərdir. Demək olar ki, bütün müasir dozimetrik cihazlar ionlaşma prinsipi əsasında işləyir və onlarda datçik rolunu ionlaşma kamerası, qazboşalması və ya ssintilyasiya sayğacları oynayır. Şüalanmanın növündən asılı olaraq, bu tip cihazları γ - şüalanmanı, β - və α - zərrəcikləri, neytronlar selini ölçməsinə görə müxtəlif növlərə ayırırlar.

Daha geniş istifadə edilən SRP - 88 (Rusiya) və MKS - AT 1125 A (Belarusiya, Atomtex) tipli dozimetr - radiometrlərinin iş prinsipi ilə tanış olaq. Bu cihazların xarici görünüşləri şəkil 4.14 və şəkil 4.15 - də təsvir edilmişdir.

SRP - 88 tipli ssintilyasiya dozimetrində detektor rolunu 30×25 ($d \times h$) ölçülü NaJ kristalı oynayır və dozimetr $\pm 10\%$ xəta ilə 8 saat fasiləsiz iş rejimində qamma - şüalanma seli üçün $10-30000 san^{-1}$ diapazonunda ölçmə işləri aparmağa imkan verir (ölçmə diapazonuna uyğun rəqəm detektora 1 san -də düşən impulsların sayını göstərir).

Cihaz ekspozisiya dozasının gücünə görə $0 - 9000 mkR/saat$ ölçmə



Şəkil 4.14. SRP-88 tipli ssintilyasiya dozimetrinin xarici görünüşü.



Şəkil 4.15. MKS - AT 1125 A tipli ssintilyasiya dozimetrinin xarici görünüşü.

diapazonuna malikdir.

SRP – 88 H və *SRP – 88 H1* tipli ssintilyasiya sayğaclarından əsasən geoloji kəşfiyyət məqsədi ilə γ - şüalanma əsasında müxtəlif dağ süxurlarının və dağ-mədən sahələrinin radioaktivliyini ölçmək məqsədi ilə istifadə edilir. Bu cihazlar, bilavasitə

təyinatından başqa, həm də ətraf mühitin, o cümlədən də AES-lərin və onlara yaxın ərazilərin radioekoloji nəzarətini həyata keçirmək üçün geniş istifadə edilir. Cihazlar detektə etmənin ssintilyasiya blokundan daxil olan impulsların orta tezliyini ölçür. Bu tip ssintilyasiya sayğaclarında qeydəalmanın minimal enerji həddi 20 keV - ə bərabərdir.

Ölçü işi aparmağa başlamamışdan əvvəl cərəyan mənbəyinin çıxış gərginliyinin minimal həddi aşmaması müəyyənləşdirilir və detektoru kontrol radioaktiv maddəyə yaxınlaşdırmaqla, impulsların sayının artması əsasında cihazın işləmə qabiliyyəti yoxlanılır.

MKS - AT 1125 A tipli dozimetr-radiometr (şəkil 4.15) isə enerjiyə görə $30 \text{ keV} - 3 \text{ MeV}$, ekspozisiya dozasının gücünə görə isə $30 \text{ nSv/saat} - 0,1 \text{ Sv/saat}$ ölçmə diapazonuna malikdir. Bu cihaz geniş diapazonda qamma-şüalanmanın doza gücünü ölçməklə yanaşı, həm də α - və β - zərrəciklər selinin sıxlığını ölçmək imkanlarına malikdir. Verilmiş yerdə ekspozisiya dozasının gücü, ölçmə işini 5 dəfə təkrarlamaqla və detektoru yerin səthində 5 sm məsafədə saxlamaqla, ölçülür. Alınmış nəticələrin xətalari, adətən, $\pm (10-20) \%$ həddini aşmır.

Fərdi dozimetrlər olaraq isə, *DK-02, DP-22A, DP-24, ID-1, ID-11* tipli dozimetrlərdən istifadə edilir.

Doza gücünü ölçmək üçün istifadə olunan *IMD - 21* tipli cihazdan γ - şüalanmanın ekspozisiya dozasının gücünü ölçmək üçün istifadə edilir. Cihaz 80 keV - dən 2.6 MeV - ə qədər enerji diapozonunda $1 \text{ R/saat} - \text{dan } 10^5 \text{ R/saat}$ - a qədər γ - şüalanmanın ekspozisiya dozasının gücünü təyin etməyə imkan verir.

DP - 22A tipli dozimetrlər dəsti şüalanma dozasını ölçmək üçün istifadə edilir. γ -şüalanma dozasının $0.5 - 200 \text{ R/saat}$ intervalında gücünü ölçən zaman dozimetrlərin ölçmə diapazonu $2 - 50 \text{ R}$ - ə qədər intervalı əhatə edir.

DK-02 tipli dozimetrlər dəstindən laboratoriya şəraitində γ -şüalanma dozasının gücünü ölçmək üçün istifadə edilir. Dozimetrlər dəstinə 10 fərdi dozimetr və cərəyan mənbəyi daxildir. Bu dozimetrlərin köməyi ilə $10 - 200 \text{ mR}$ intervalında γ - şüalanma dozasını ölçmək olur (şüalanma dozasının gücü 6 R/saat - dan çox olmayan halda).

ID - 11 tipli fərdi doza ölçmə dəstindən (dəstə 500 fərdi doza ölçmə cihazı daxildir) radiasiya zədələnmələrinin ilkin diaqnostikası məqsədi ilə əhalinin şüalanmasına nəzarət üçün istifadə edilir. Dəst $10 - 1500 \text{ rad}$ diapazonunda γ - və qarışıq $\gamma - \text{neytron}$ - şüalanmalarının udulma dozalarını ölçməyə imkan verir.

DRQ 2 - 01 tipli dozimetrlər $30 - 1250 \text{ keV}$ enerji doapazonunda *rentgen* və γ - şüaların ekspozisiya dozasını ölçmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. Bunlardan nümunəvi cihaz kimi dövlət metroloji xidmət orqanlarında geniş istifadə edilir.

AKIDK - 101 tipli avtomatlaşdırılmış fərdi dozimetrik nəzarət dəsti, litium-flordan olan 3 monokristallik detektorlu *DTL-01* kassetindən istifadə edilməklə, işlənilib hazırlanmışdır. Bu cihazlarda ekvivalent doza ölçmələri diapazonu $0.05 - 50 \text{ Zv}$, udulma dozası ölçmələri diapazonu isə $5 \cdot 10^{-5} - 50 \text{ Qr}$ intervalındadır. Dəst, atom energetikası və sənayesi obyektlərinin, ionlaşdırıcı şüalanma mənbələri ilə işləyən

müəssisə və təşkilatların işçilərinin avtomatlaşdırılmış fərdi dozimetrik nəzarətinin təşkili üçün nəzərdə tutulmuşdur.

DEQ - 08 tipli dozimetrlər sudan və mexaniki təsirlərdən (zərbələrdən) mühafizə oluna bilən formada işlənilib hazırlanmışlar və əsasən doza gücü $500 R/saat$ - a qədər olan qəza vəziyyətləri hallarında istifadə üçün nəzərdə tutulmuşlar. Ölçmə işlərinə başlamamışdan əvvəl cərəyan mənbəyindən istifadə etməklə cihazda yerləşdirilmiş β - radioaktiv mənbəyin şüalanması əsasında dozimetrin iş qabiliyyəti yoxlanılır. Zəif işıqlanma hallarında cihazın göstərişinin rahat qeydə alınması üçün işıq diodlarının əsasında rəqəmli tablo quraşdırılmışdır. Cərəyan mənbəyi dozimetrin fasiləsiz olaraq, $100 saat$ - a qədər işləməsini təmin edir.

DRQ - 05 M tipli ssintilyasiya dozimetrlərindən şüalanma sahələrinə operativ nəzarəti həyata keçirmək üçün istifadə edilir. Bu dozimetrlərin köməyi ilə *rentgen* və γ -şüalanmaların ekspozisiya dozası və ekspozisiya dozasının gücü ölçülür. Bunlardan həmçinin β - zərrəciklər selinin sıxlığını keyfiyyətcə qiymətləndirmək üçün də istifadə etmək olur. $9 mR/saat$ doza gücündə cihazın göstəricisinin qərarlaşma vaxtı $25 san$, $360 mR/saat$ doza gücündə isə $3 san$ - ə qədər olur.

UIM2 -1eM tipli ssintilyasiya sayğacından α -zərrəcikləri qeydə almaq üçün istifadə edilir. Cihaz $0.3 - 10^4 san^{-1}$ diapazonunda impulsları qeydə almağa imkan verir.

DP - 70 və *DP - 70 M* tipli kimyəvi dozimetrlər şüa xəstəliyi zamanı orqanizmin zədələnmə dərəcəsinin tibbi diaqnostikası məqsədi ilə şüalanma dozasını ölçmək üçün yaradılmışdır. Hər iki dozimetrin eyni konstruksiyaya malik olmalarına baxmayaraq, onlar müxtəlif mayelərlə doldurulur və buna görə də müxtəlif məqsədlər üçün istifadə edilir. Daha dəqiq desək, *DP - 70* cihazı γ -şüalanma dozasını, *DP - 70 M* cihazı isə nüfuzedic radiasiya dozasını ölçməyə imkan verir. Dozimetrlərin ölçmə diapazonu $50 - 800 R$ -dir və onların hər ikisindən həm birdəfəlik, həm də $30 sutka$ ərzində toplanan şüalanma dozasını qeydə almaq üçün istifadə etmək olur.

Kimyəvi dozimetrlər içərisinə rəngsiz maye doldurulmuş 6 şüşə ampuladan ibarətdir. İonlaşdırıcı şüalanmanın təsiri ilə ampulada olan maye öz rəngini solğun çəhrayı rəngdən açıq moruq rənginə qədər dəyişir. Rəngin tündlüyü şüalanma dozasına mütənəsb olur. Bu tip dozimetrlərdə şüalanma dozası *PK - 56* tipli sahə kalorimetri vasitəsilə ölçülür.

4.6.4. Radiometrlər. Radiometrlər ionlaşdırıcı şüalanma selinin sıxlığını (müəyyən növ zərrəciklər selinin sıxlığını) və radionuklidlərin aktivliyini təyin etməyə imkan verən cihazlardır. Radiometrlərdə datçik rolunu qazboşalması və ssintilyasiya sayğacları oynayır. Bu növ cihazlar ən geniş yayılmış və ən çox istifadə olunan cihazlardır.

Radiometrlərin bəzi növləri ilə tanış olaq.

DP - 5 tipli radiometr γ - şüalanmanın intensivliyini müəyyənləşdirmək və ərazinin çirklənmə səviyyəsini qiymətləndirmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. Bu cihaz, γ - şüalanmaya görə radiasiya səviyyəsini $0.05 mR/saat$ -dan $200 R/saat$ -a qədər ölçmə imkanına malikdir. Cihazda şüalanma detektoru rolunu *STS - 5* tipli halogen

sayğac oynayır.

RKS - 20.03 tipli radiometr γ - şüalanmanın ekvivalent doza gücünü, β - zərrəciklər selinin sıxlığını, həmçinin də maye və səpələnə bilən maddələrdə xüsusi aktivliyi ölçmək üçün fərdi və kollektiv istifadə məqsədi ilə yaradılmışdır. Həmin cihazdan yaşayış və istehsalat binalarının, məişət və geyim əşyalarının, bağ ərazilərinin, torpaq örtüyünün, nəqliyyat vasitələrinin "radiasiya təmizliyini" nəzarətdə saxlamaq məqsədi ilə də istifadə edilə bilər.

β -zərrəciklər selinin sıxlığının ölçmə diapazonu ($10 - 2 \cdot 10^4$) zərrəcik / $sm^2 \cdot d\text{əq}$ intervalında dəyişir. Maye və səpələnən maddələrdə β - radioaktiv nuklidlərin seziyum - 137 izotopuna görə xüsusi aktivliyinin ölçmə diapazonu $3.7 - d\text{ən } 3.7 \cdot 10^2$ kBk / kq - a qədər, ölçmə vaxtı isə 20 saniyədir.

RUB - 01P6 tipli radiometr seziyum-134 və ya seziyum-137 radionuklidlərinə və yaxud da məlum faiz nisbətində hər iki radionuklidə malik ətraf mühit nümunələrinin xüsusi və həcmi aktivliyini ölçmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. Radiometrədən həmçinin maye, səpələnə bilən, pastaformalı nümunələrin, $0.2 - 1.5$ q/sm^3 - ə bərabər xüsusi sıxlığa malik kənd təsərrüfatı məhsulları nümunələrinin sanitariya-gigiyena nəzarəti üçün də istifadə etmək olar.

4.6.5. Əhalinin istifadəsi üçün nəzərdə tutulmuş məişət dozimetrləri. Məişət dozimetrləri yaşayış və iş yerlərində radiasiya vəziyyətini qiymətləndirmək üçün istifadə edilir. Bu tip dozimetrlərdən, həmçinin xarici γ - şüalanmanın ekvivalent doza gücünü ölçməklə, yaşayış yerinin operativ radiomonitorinqini aparmaq üçün istifadə edilə bilər.

Şəkil 4.16 - da əhalinin istifadəsi üçün nəzərdə tutulmuş bəzi dozimetrlərin xarici görünüşləri təsvir edilmişdir. Praktikada ən geniş istifadə olunan məişət dozimetrləri xarici foton (rentgen) və γ - şüalanmanı qeydə almaq üçün istifadə olunan dozimetrlərdir. Qeyd edək ki, β - zərrəciklərə və neytron şüalanmasına nəzarətə ehtiyac adətən az olur. Belə ki, adı çəkilən şüalanma növlərinə nəzarətə tələbat (T) təxminən $T_\gamma : T_\beta : T_n = 100 : 10 : 1$ nisbətində olur.

Məişət dozimetrlərinin iş prinsipinin əsasında γ - kvantlar və β - zərrəciklər selinin yaratdığı ionlaşdırıcı şüalanmanın detektor tərəfindən elektrik siqnallarına çevrilməsi dayanır. Bu zaman vahid zamanda yaranan elektrik siqnalların sayı γ - şüalanmanın ekvivalent doza gücünə və yaxud da çirklənmiş səthlərin, müxtəlif yeyinti məhsullarının yaratdığı β - zərrəciklər selinin intensivliyinə mütənasib olur. Son nəticədə amplituda və zamana görə formalaşan elektrik siqnalları qeydəalma və səs siqnalı sxeminə, oradan isə cihazın rəqəmsal tablosuna ötürülür. Rəqəmsal tabloda ölçülən kəmiyyətin qiymət göstəricisinin dəyişmə periodikliyi $0.5 - 1.0$ *san* təşkil edir.

Əhalinin istifadəsi üçün nəzərdə tutulmuş dozimetrlərin xarakterik xüsusiyyətləri onların sadə istismar qaydalarına malik olması, istifadəçidən bu sahədə yüksək texniki hazırlığın və savadın tələb olunmamasıdır. Cihaz həmçinin yüksək etibarlılığa və nisbətən kiçik qiymətə malikdir.

Əhalinin istifadəsinə verilən fərdi dozimetrlərə misal olaraq, *KDT - 02 M*, *IKS - A*, *DTU - 01* tipli stasionar termoluminessent dozimetrlər dəstini və γ -



Şəkil 4.16. Əhalinin istifadəsi üçün nəzərdə tutulmuş bəzi dozimetrlərin xarici görünüşləri.

şüalanmanı qeydə almaq üçün bir və iki detektorlu *AKIDK - 100* tipli avtomat dəsti göstərmək olar.

KDT - 02 M dozimetrlərinin köməyi ilə həmçinin şüalanmanın ekspozisiya dozasını və β - şüalanmanı ölçmək üçün də istifadə etmək olur.

Yeyinti məhsullarının β - zərrəciklərlə çirklənmə dərəcəsini müəyyənləşdirmək üçün mürəkkəb ölçü əməliyyatı tələb olunduğundan, bu nəzarət növündən əhalinin istifadəsi etməsi məsləhət görülmür.

Fərdi dozimetrlərin içərisində qələm tipli ionlaşdırıcı dozimetrlər xüsusi yer tutur. Bu cür cihazların ölçü diapazonu *0.1 - 30 ber* intervalında olur.

Adətən, fərdi dozimetrlərin ölçü xətası kifayət qədər böyük olur. Məsələn, qələm tipli *D - 2R* fərdi dozimetrlərinin ölçü xətası *20 %* - ə qədər olur.

Əhalinin istifadə etdiyi portativ dozimetrik cihazlar indikator tipli ölçü cihazlarıdır ki, bunları da, şərti olaraq, siqnalizator indikatoru, ölçü indikatoru, kombinə olunmuş dozimetrik cihazlar (dozimetr-radiometrlər, saat və radioqəbuledici kimi məişət texnikasına quraşdırılmış dozimetrik cihazlar) qruplarına bölürlər.

Ölçü indikatorları işıq və səs siqnalları vasitəsilə radioaktiv çirklənməni aşkar etməyə və γ - şüalanma dozasının gücünün səviyyəsini qiymətləndirməyə imkan verir. Bu tip indikatorlarda, məsələn, *0.6 mkZv/saat (60 mkR/saat)* - a qədər doza gücünə uyğun şkala sektoru adətən yaşıl rəngdə, *0.6 mkZv/saat* - dan *1.2 mkZv/saat* - a (*60 mkR/saat* - dan *120 mkR/saat* - a) qədər şkala sektoru sarı rəngdə, *1.2 mkZv/saat* - dan yüksək şkala sektoru isə qırmızı rəngdə olur.

Hal-hazırda əhalinin istifadəsinə verilmiş Rusiya istehsalı olan ən yaxşı dozimetrlər «*Рось*», «*Фотон*», «*Полынь - 101*», «*Дон - 1*», «*Берег*» tipli dozimetrlər hesab olunur.

Məişət dozimetrləri, bir qayda olaraq, sezium-137 mənbəyinə görə dərəcələnilir. Cihazın ölçü xətalari həddlərində ekvivalent doza gücündən (*D_{ekv}*) ekspozisiya doza gücünə (*D_{eksp}*) keçmək üçün *100* - ə bərabər olan əmsala vurmaq lazımdır (*1mkZv/saat = 100 mkR/saat*). Bəzi dozimetrlərdə isə şkalanın birindən digərinə keçmək üçün xüsusi çevirici açar olur.

Radioaktiv parçalanma prosesi statistik (təsadüfi) xarakterli olduğundan, dozimetrik cihazların göstəriciləri, ölçüdən-ölçüyə küçdikcə, fərqlənə bilər. Buna görə də, ölçülən kəmiyyət nə qədər kiçik olarsa, bu fərq (flüktasiya) o qədər böyük olur. Ölçü xətasını, ölçmə vaxtını uzatmaqla, azaltmaq olur. Sabit ölçü vaxtına malik cihazlarda isə eyni ölçünü *3-10* dəfə təkrarlamaq məsləhət görülmür.

«*ELTEC - 902*» tipli məişət γ - şüalanma indikatorundan səs və işıq siqnalları vasitəsilə γ - şüalanmanın ekspozisiya dozasının gücünü qiymətləndirmək üçün istifadə edilir. Cihazla üç diapazonda (*10-100 mkR/saat, 0.1-1.0 mR/saat, 1-10 mR/saat*) ölçü işləri aparmaq mümkündür.

«*IRA - 1*» tipli γ - şüalanma indikatoru avtomobillər üçün nəzərdə tutulmuşdur və qeydəalma *10 ədəd* işıq diodu vasitəsilə həyata keçirilir. Dedektətmə blokunda detektor rolunu *SBM - 20* tipli *2* sayğac oynayır.

«*Master - 1*» tipli məişət dozimetri *0.10 - 9.99 mkZv/saat* diapazonunda çöl

şəraitində ayrı-ayrı sahələrdə ekvivalent dozanı ölçməyə imkan verir. Ekvivalent doza gücünün kiçik qiymətlərində (təbii radiasiya fonu səviyyəsində) şüalanmanın sayğacla qarşılıqlı təsiri təsadüfi xarakter də daşıya bilər və buna görə də cihazın göstərişində əhəmiyyətli kənarçıxmalar müşahidə oluna bilər. Belə hallarda doza gücünün daha dəqiq təyin edilməsi üçün bir neçə paralel ölçmələr aparılmalı və ölçülən kəmiyyətin orta hesabı qiyməti tapılmalıdır.

“Bella” məişət dozimetri səs signalı əsasında γ - şüalanmanı aşkar etmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. Cihazla həmçinin rəqəmli tablonun köməyi ilə γ -şüalanmanın sahə ekvivalent doza gücünü ölçmək də mümkündür. Cihazdan ərazidə radiasiya vəziyyətinə operativ nəzarət üçün də istifadə edilir. Portativ “Bella” cihazı paltarın cibində gəzdirilə bilən ölçüyə malikdir.

IRD - 02B1 markalı məişət dozimetr-radiometri, “Bella” məişət dozimetri kimi, γ -şüalanmanın ekvivalent doza gücünü ölçmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. Cihazın köməyi ilə həm çirklənmiş səthlərin yaratdığı β - şüalanma selinin sıxlığını, həm də su, torpaq, qida məhsulu, kənd təsərrüfatı və bitkiçilik məhsulları nümunələrinin β - və γ -şüalanma yaradan radionuklidlərlə çirklənmə səviyyəsini qiymətləndirmək mümkündür. Cihaz operativ olaraq, radionuklidlərlə çirklənmə yerini (radioaktiv şüalanma mənbəyini) tapmağa imkan verir.

Bu məişət dozimetr - radiometrinin seziyum-137 nuklidinin γ -şüalanmasına görə ölçmə diapazonu: a) ekvivalent doza gücü üçün - $0.1 - 19.99 \text{ mkZv/saat}$; b) su, torpaq, yeyinti məhsulları və s. nümunələrin çirklənmə halı üçün - $1.0 \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^6 \text{ Bk/l}$ qədərdir.

Cihazın β - şüalanmaya görə qiymətləndirmə diapazonu isə stronsium - 90, ittrium - 90 və seziyum - 130 izotoplarına görə çirklənmiş səthlərin β - zərrəciklər selinin sıxlığı üçün $(3 - 1999) \text{ zərr./sm}^2 \cdot \text{dəq.}$ - dir

Cihaz 0.156 MeV - dən kiçik olmayan β - şüalanma enerjisini qeydə almağa imkan verir.

ANRİ – 0 1- 02 (“Sosna”) tipli məişət dozimetr-radiometrindən yaşayış və iş yerlərinin radiasiya vəziyyətinə fərdi nəzarət üçün istifadə edilir. Bu cihaz vasitəsilə:

- a) γ -şüalanmanın ekspozisiya və ekvivalent dozalarının gücünü;
- b) çirklənmiş səthlərin β - şüalanma selinin sıxlığını;
- c) müxtəlif maddələrdə radionuklidlərin həcmi aktivliyini təyin etmək mümkündür.

Güc ölçmələri diapazonu γ - şüalanmanın ekspozisiya dozası üçün $0.010 - 9.999 \text{ mR/saat}$, sahə ekvivalent doza üçün isə $0.10 - 99.99 \text{ mkZv/saat}$ - a bərabərdir.

Radionuklidlərlə çirklənmiş səthlərin β -şüalanma selinin sıxlığının ölçmə diapazonu $(10 - 5000) \text{ zərr./sm}^2 \cdot \text{dəq.}$, seziyum-137 izotopu üzrə həcmi aktivliyin qiymətləndirilməsi diapazonu isə $(10^{-7} - 10^{-6}) \text{ Ku/saat}$ -dir. Cihazda radioaktiv şüalanmanın detektə olunması SBM-20 tipli iki qazboşalması sayğacının köməyi ilə həyata keçirilir.

RKSB – 104 tipli kombinə olunmuş cihaz, həm radiometr, həm də dozimetr funksiyalarını yerinə yetirir və aşağıdakı diapazonlarda ölçmə işləri həyata keçirir:

- a) γ - şüalanmanın sahə ekvivalent doza gücünü - $0.1 - 99.99 \text{ mkZv/saat}$ diapazonunda;
- b) çirklənmiş səthlərin yaratdığı β - şüalanma selinin sıxlığını (stronsium-90 + ittrium-90 radionuklidləri üzrə) - $(0.1 - 99.99) \text{ zərr/sm}^2 \cdot \text{san}$ diapazonunda;
- c) müxtəlif maddələrdə sezium - 137 radionuklidinin xüsusi aktivliyini - $(2 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^6) \text{ Bk/kq}$ diapazonunda.

Cihaz $0.061 - 1.25 \text{ MeV}$ enerjili γ -şüaları və $0.5 - 3 \text{ MeV}$ enerjili β -şüaları qeydə ala bilir. Şüaların detektətmə qurğusu *SBM-20* tipli paralel birləşmiş iki qazboşalması sayğacından ibarətdir.

Qeyd: Əgər ölçmə nəticəsində γ -şüalanmanın sahə ekvivalent doza gücü 0.6 mkZv/saat -i (60 mkr/saat -i) aşan ərazi aşkar edilərsə və xüsusi aktivliyi $3.7 \cdot 10^3 \text{ Bk/kq}$ və ya $1 \cdot 10^{-7} \text{ Ku/kq}$ olan nümunə qeydə alınarsa, bu halda ehtiyatlı davranmaq və təcili olaraq aidiyyəti olan orqanlara, şəhər (rayon) sanitar epidemioloji stansiyaya məlumat vermək lazımdır.

TƏBİİ RADİASIYA MƏNBƏLƏRİ

İnsan həyatı boyu müxtəlif şüalanmaların təsirinə məruz qalır. Bu şüalanmaların bir qismini təbii mənşəli ionlaşdırıcı şüalanma mənbələri yaradır ki, bunlar da “təbii radiasiya fonu” adlanan fon yaradır. Təbii radiasiya fonu yaradan mənbələr Yer və yerdən kənar, yəni kosmik mənşəli olurlar.

İnsanın əməli fəaliyyəti də yaşadığı mühitin radiasiya fonunun əhəmiyyətli dərəcədə dəyişməsinə səbəb olur. Radioaktiv maddələrin istehsalı və onlardan müxtəlif məqsədlər üçün istifadə verilən ərazidə radiasiya fonunun dəyişməsində müstəsna rol oynayır.

Təbii qazdan yanacaq kimi istifadə və həmçinin təbii qazın özünün istehsalı radiasiya fonunu dəyişdirər bilən amillərdən hesab olunur. Bunun səbəbi təbii qazın tərkibində müəyyən miqdarda radon qazının olmasıdır. Anoloji effekti yüksək radionuklid tərkibinə malik tikinti materialından istifadə də yarada bilər. Verilən yerdə radiasiya şəraitini həm də neft istehsalı və emalı dəyişdirər bilər. Belə ki, Yerin dərin qatlarından çıxarılan neftin və onu müşayiət edən buruq sularının tərkibində, az miqdarda da olsa, böyük yarımparçalanma perioduna malik təbii radionuklidlər olur. Radionuklidlər texnoloji proseslər nəticəsində ətraf mühitə yayılaraq, həmin ərazilərdə təbii radiasiya fonunun artmasına səbəb olur. Yüksək radiasiya fonunu həmçinin kömür istehsalı və istifadəsi yarada bilər. Məsələn, İstilik Elektrik Stansiyalarında yanacaq qismində istifadə olunan kömürün yanması atmosfərə xeyli miqdarda müxtəlif radionuklidlərin atılmasına səbəb olur.

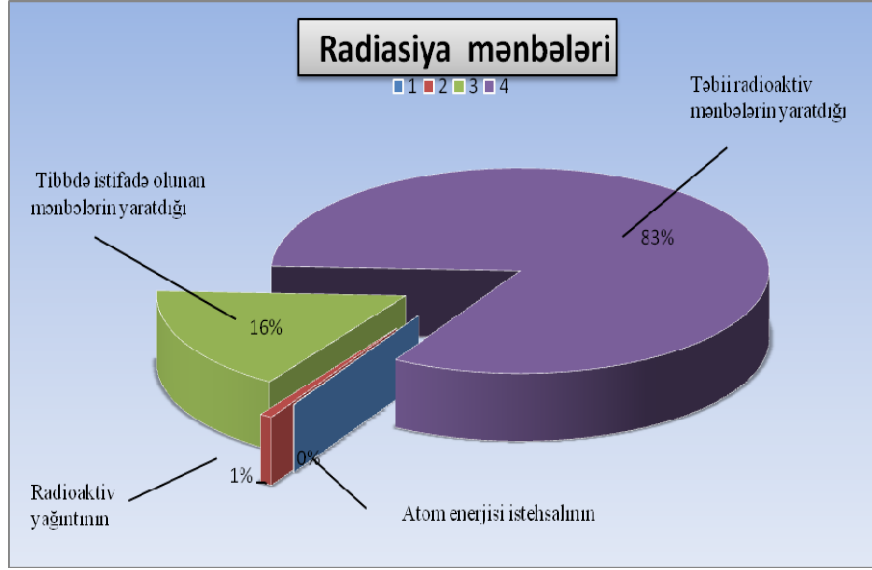
Sadalanan hallarda radiasiya fonu texnoloji yüksəlmiş radiasiya fonu adlanır.

Elmi texniki tərəqqi insanların əlavə radioaktiv şüalanmaya məruz qalmasına səbəb olan çoxlu miqdarda süni şüalanma mənbələrinin yaradılmasına gətirib çıxarmışdır. Süni mənbələrə elementar zərrəciklər sürətləndiriciləri, implantatorlar, plazmatronlar, nüvə reaktorları kimi nüvə - texniki qurğular və təbabətdə istifadə olunan radionuklidlər və rentgen qurğuları da daxil olmaqla, süni radioaktiv maddələr aiddir.

Qeyd edək ki, Yer kürəsinin əhalisi məruz qaldığı şüalanmanın əsas hissəsini təbii radiasiya mənbələrindən alır (şəkil 5.1).

Şəkil 5.1. - də əyani formada təsvir olunmuş diaqramdan da göründüyü kimi, insanların təbii radiasiya mənbələrindən aldıkları şüalanma onların məruz qaldığı ümumi şüalanmanın ~ 83 % - ni təşkil edir.

Təbii radiasiya mənbələri dedikdə Kosmik Qalaktikanın müxtəlif ulduzları (həmçinin də Günəş) və Yerin ayrı – ayrı suxurlarının tərkibinə daxil olan çoxlu sayda



Şəkil 5.1. Müxtəlif radiasiya mənbələrinin yaratdığı şüalanmaya dair pay diaqramı.

radionuklidlər başa düşülür. Bu mənbələrin yaratdığı şüalanmaları, uyğun olaraq, kosmik və yer mənşəli şüalanmalar adlandırılır. Şüalanmanın kosmik və ya yer mənşəli olmasından asılı olmayaraq, onların əksəriyyətinin yaratdığı şüalanmanın təsirindən qətiyyənlə qorunmaq mümkün deyil. Belə ki, yarandığı gündən Yer in səthi kosmosdan gələn müxtəlif şüaların təsirinə məruz qalır və Yer qabığının özündə mövcud olan müxtəlif radioaktiv maddələrin şüalanması bu təsiri daha da gücləndirir.

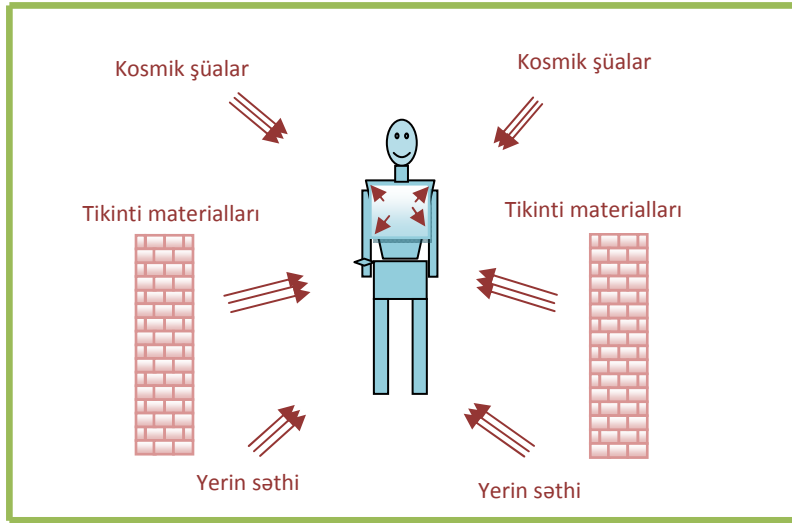
İnsanların məruz qaldığı şüalanmanı iki növə ayırmaq mümkündür. Radioaktiv maddə, bir halda, orqanizmdən kənarında ola bilər və bu halda onu xaricdən şüalandıra bilər. Bu şüalanma növü xarici şüalanma adlanır. Digər halda isə, havada, suda və qidada olan radioaktiv maddə asan yolla orqanizmə daxil ola bilər ki, belə olan halda artıq orqanizmin daxili şüalanmasından söhbət gedə bilər.

Orqanizmin əsas şüalanma yolları və onların ümumi şüalanmaya verdikləri pay diaqram şəklində (faizlərlə), uyğun olaraq, şəkil 5.2 və şəkil 5.3 -də öz əksini tapmışdır.

Artıq qeyd etdiyimiz kimi, təbii şüalanma mənbələrinin yaratdığı şüalanmaya Yer kürəsinin hər bir sakini məruz qalır. Fərq onlardan bir qisminin az, digər qisminin isə çox şüalanma dozası qəbul etmələridir. Buna səbəb isə onların fərqli yerlərdə yaşamalarıdır. Aydındır ki, radioaktiv süxurlarla zəngin ərazilərdə yaşayan əhali daha çox şüalanmaya məruz qalmalıdır.

Qəbul olunan şüalanma dozası həmçinin əhalinin yaşayış tərzindən də asılı olur. Belə ki, istifadə olunan bəzi tikinti materialları, qida hazırlamaq üçün təbii qazdan

istifadə, açıq kömür kürələri (manqallar), binaların germetiklik dərəcəsi, həmçinin də təyyarələrdə uçuşlar şüalanma səviyyəsini əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

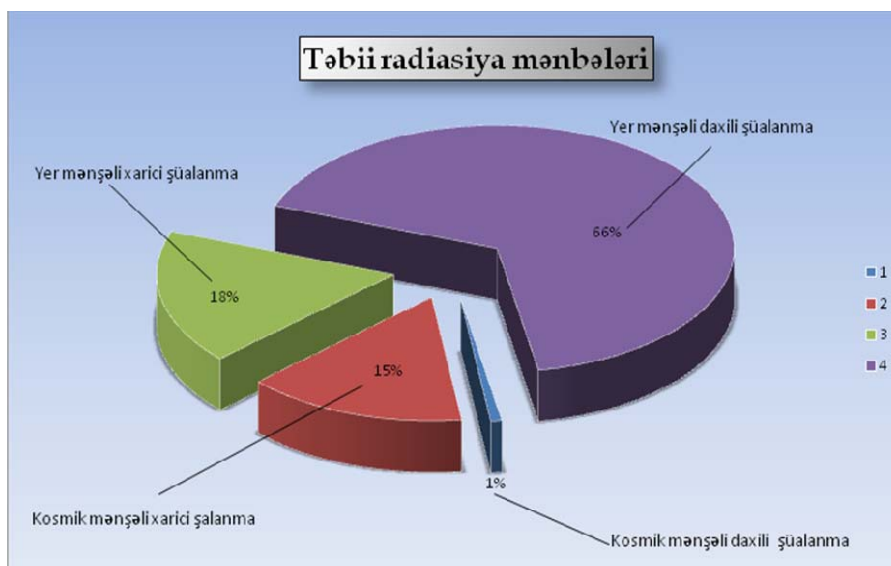


Şəkil 5.2. Orqanizmin əsas şüalanma yolları.

Şəkil 5.3 - dən göründüyü kimi, Yerin özünə məxsus radiasiya mənbələri insanların məruz qaldığı təbii radiasiyanın yaratdığı şüalanmanın çox hissəsini təşkil edir.

Müəyyən edilmişdir ki, orqanizmin, əsasən, daxili şüalanmasını yaradan Yer mənşəli radiasiya mənbələri əhalinin qəbul etdiyi illik effektiv ekvivalent dozanın orta hesabla $5/6$ hissəsini təşkil edir. Qalan hissəni isə xarici şüalanma mənbəyi rolunu oynayan kosmik şüalanma yaradır.

Dediklərimizdən aydın olur ki, Yerdə təbii radiasiya fonunu əsasən Yer süxurlarının tərkibində olan radioaktiv elementlərin yaratdığı şüalar və kosmosdan gələn şüalar formalaşdırır ki, bunlar da insan orqanizminin xarici və daxili şüalanmasına səbəb olur. Bu zaman Yer qabığının özündə və bəzi tikinti materiallarında mövcud olan təbii radioaktiv elementlərin yaratdığı şüalar, insan bədənini deşib keçməklə, orqanizmin xarici radiasiya şüalanmasını yaradır. Bəzi tikinti materiallarından, yanacaq kimi təbii qazdan, həmçinin də duş qəbulu zamanı təbii sudan istifadə onlardan ayrılan radioaktiv radon qazının nəfəs yolları ilə insan orqanizminə yol tapmasına və nəticədə onun daxili şüalanmasına gətirib çıxarır. Bundan başqa, qida rasionumuzu təşkil edən məhsulların bəzi hallarda mikroskopik miqdarda radioaktiv elementlərə malik olması da orqanizmin daxili şüalanmasına səbəb olur.



Şəkil 5.3. Yer və kosmik mənşəli şüalanma mənbələrinin daxili və xarici şüalanmada payı.

Kosmik və Yer mənşəli şüalanmaların yaratdığı xarici şüalanmaya dair məlum olan bəzi faktlarla tanış olaq.

5.1. Kosmik mənşəli təbii şüalanma mənbələri

Kosmik fəzanı dolduran yüksək enerjili zərrəciklər seli və həmin zərrəciklərin Yer atmosferində yaratdığı ikinci şüalanma kosmik şüalar və ya kosmik şüalanma adlanır. Hal-hazırkı dövrdə kosmik şüaların fiziki xüsusiyyətləri, onların energetik spektrləri, bucaq paylanmaları, yaratdığı şüalanma dozaları haqqında geniş məlumatlar toplanmışdır. Yer ətrafı fəzada və atmosferin yuxarı qatlarında kosmik şüaların geniş tədqiqinə 60 -cı illərdən başlamışdır. Qeyd edək ki, bu tədqiqatlar Yerin süni peyklərindən, yüksəklik aerostatlarından və təyyarələrdən istifadə nəticəsində mümkün olmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, ilkin kosmik şüalar $0.01 - 1 \text{ QeV}$ və daha çox enerjiyə malik Qalaktik kosmik şualardan və enerjisi bundan xeyli kiçik olan Günəş şüalarından ibarətdir. Günəş şüalarının qeydə alınmış tipik enerjisi $40 - 50 \text{ MeV}$ - ə bərabər olur. Kosmik zərrəciklərin kinetik enerjisi də $0.1 - 1 \text{ Mev}$ - ə bərabər Yer mənşəli şüalanmanın kinetik enerjisindən bir neçə tərtib yüksək olur.

Qalaktik şüalanmanı Günəş sistemindən çox - çox uzaqlıqda yerləşən obyektlər yaratdığı halda, Günəş şüalanması Günəşin səthində baş verən möhtəşəm Xromosfer partlayışları nəticəsində yaranır. Bu partlayışlar həm rentgen,

ultrabənövşəyi, görünən işıq şəklində elektromaqnit dalğalarının şüalanması ilə, həm də maqnit fırtınaları və Günəş maddəsi zərrəciklərinin fəzaya səpələnməsi ilə müşayiət olunur. Qalaktik kosmik şüalar selinin sıxlığı bir saniyədə hər kvadrat santimetr səthdə təxminən bir zərrəciyə bərabər olur. Bu şüalar, əsasən, protonlardan (93 %), α - zərrəciklərdən (6.3 %) və az miqdarda digər zərrəciklərdən ibarət olur.

Qalaktik kosmik şüaların intensivliyi və onların yaratdığı şüalanma dozası Günəş aktivliyinin 11 il - lik variasiyası ilə korrelyasiya edir. Günəşin aktivliyini xarakterizə edən K moduliyası əmsalı 0.3 - dən (Günəşin aktivliyi minimal olan halda) 2.5 - ə qədər (bu aktivlik maksimal olan halda) dəyişə bilər. Bu fiziki parametrin periodik dəyişməsi aşağıdakı effektlərlə bağlıdır.

Yerin maqnit sahəsinə Günəşin maqnit sahəsi əlavə olunur ki, bu da, aktivliyin artması zamanı onun güclənməsinə, azalması zamanı isə onun zəifləməsinə səbəb olur. Birinci halda Qalaktik kosmik şüalara Günəşin maqnit sahəsinin ekranlaşdırıcı təsiri artır və nəticədə onların intensivliyi azalaraq, kosmik zərrəciklərin yaratdığı dozanı kiçildir. Bu hal Qalaktik mənşəli zərrəciklər selinin zəifləməsi adlanır. İkinci halda isə, əksinə, Günəşin maqnit sahəsinin zəifləməsi Qalaktik kosmik şüaların intensivliyinin şüalanma dozasının artmasına səbəb olur.

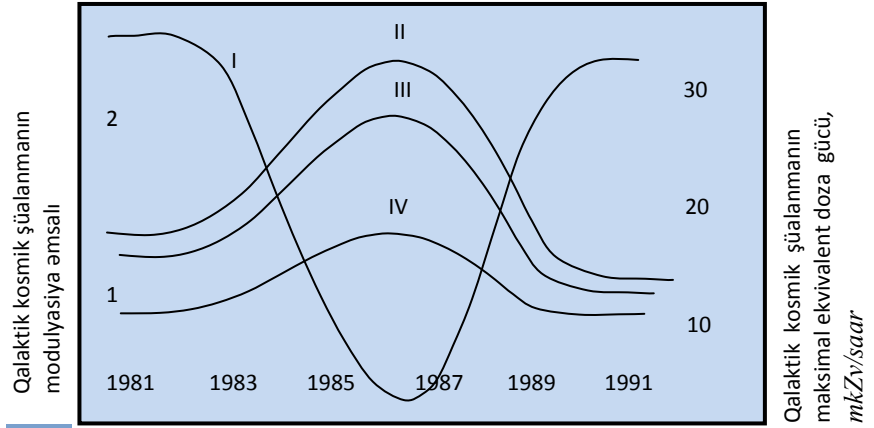
Yüksək en dairəsində (polyar oblastlarda) yüklü zərrəciklər az meyl edərək, Yer in maqnit sahəsinin qüvvə xətlərinə, demək olar ki, paralel hərəkət edirlər və bu zaman şüalanma selinin sıxlığı maksimal olur. Aşağı en dairələrində (ekvator oblastında) isə yüklü zərrəciklər daha çox meyl etdiklərinə görə Yer in geomaqnit sahəsinin qüvvə xətlərinə perpendikulyar hərəkət edirlər ki, bu halda da sel sıxlığı minimal olur. Analoji qanunauyğunluq Qalaktik kosmik şüaların ekvivalent doza gücü üçün də xarakterikdir. Deməli, təbii maqnit spektrometri rolunu oynamaqla, Yer in geomaqnit sahəsi yüksək enerjili zərrəciklərin ekvator oblastına, kiçik enerjili zərrəciklərin isə polyar oblastlara daxil olmasına səbəb olur (şəkil 5.4).

Yüksək enerjili zərrəciklərin daimi fonunu yaradan Qalaktik kosmik şüalardan fərqli olaraq, Günəş kosmik şüaları aperiodik yaranır. Bu şüalar, nisbətən kiçik enerjiyə malik olduqlarından (Günəş mənşəli güclü zərrəciklər selinin nadir hallarda atmosfərə daxil olmasını çıxmaq şərti ilə), demək olar ki, troposferin sərhədlərinə və Yer in səthinə çata bilmirlər. Buna baxmayaraq, həmin şüalar 10 -12 km - dən yuxarı yüksəkliklərdə Qalaktik kosmik şüaların yaratdığı fon intensivliyini bir neçə tərtib artırır.

5.1.1. İlk kosmik şüalanma. Aydındır ki, Yer in səthində kosmik şüaların təsirinə məruz qalmayan nöqtə yoxdur. Sadəcə olaraq, qeyd etdiyimiz kimi, bu təsir müxtəlif yerlərdə müxtəlif olur. Yer in yüklü zərrəcikləri meyl etdirən maqnit sahəsinə malik olması isə onun şimal və cənub qütblərinin, ekvatorla müqayisədə, daha çox radioaktiv şüalar qəbul etməsinə səbəb olur.

Sadə məntiqə əsaslanmaqla deyə bilərik ki, hündürlüyün artması mühafizə ekranı rolunu oynayan hava təbəqəsinin azalmasına və nəticədə şüalanma səviyyəsinin yüksəlməsinə səbəb olmalıdır. Həqiqətən də, əgər dəniz səviyyəsində yaşayan insanlar kosmik şüalanmadan orta hesabla 300 mkZv/saar - a bərabər effektiv

ekvivalent doza qəbul edirlərsə, dəniz səviyyəsindən 2000 m - dən çox yüksəklikdə yaşayan insanlar üçün bu rəqəm bir neçə dəfə yüksək olur



Şəkil 5.4. Qalaktik kosmik şüalanmanın 11 il - lik tsiklik variasiyası (I -Qalaktik kosmik şüalanmanın modulyasiyası, II - IV – Qalaktik kosmik şüalanmanın, uyğun olaraq, Murmansk, Moskva və Alma - Ata şəhərləri üçün ekvivalent doza gücü).

Təqribi hesablamalara əsasən hər saniyədə Yerə hər kvadrat metr səthinə kosmosdan gələn on mindən çox reliyativistik (ışq sürətinə yaxın sürətlə hərəkət edən) yüklü zərrəcik düşür. Kosmik şüalar adlanan bu şüaların böyük əksəriyyəti, artıq qeyd etdiyimiz kimi, Günəşdə və bizim Qalaktikada vaxtaşırı baş verən möhtəşəm ulduz partlayışları nəticəsində yaranır. Çox yəqin ki, Yerə digər Qalaktikalardan da böyük enerjili zərrəciklərin çata bilməsi ehtimalı kiçik deyildir.

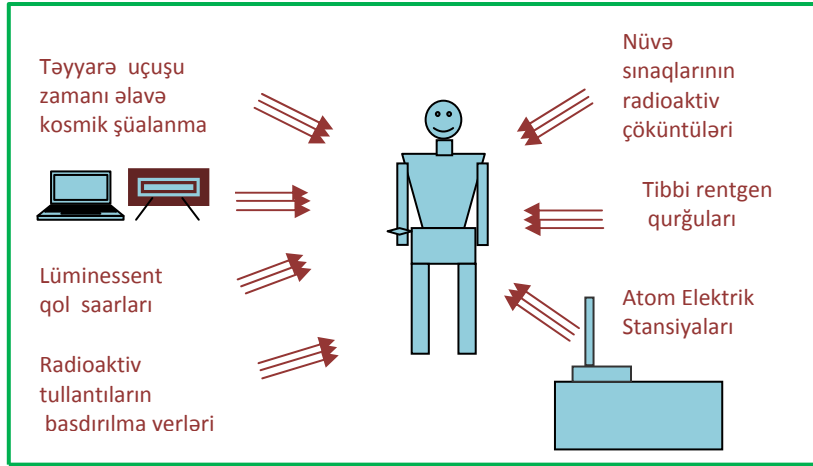
Kosmik şüalanmanın tərkibinin böyük üstünlüklə protonlardan (~ 90%), helium nüvələrindən (protonlardan ~ 10 dəfə az) ibarət olmasına baxmayaraq, bu şüaların tərkibində Mendeleyev cədvəlindəki elementlərin əksəriyyətini qeydə almaq mümkün olmuşdur.

Qeyd etdiyimiz kimi, Yerə səthinə çatan kosmik şüalanmanın intensivliyi, coğrafi en dairəsindən və dəniz səviyyəsindən olan hündürlükdən asılı olaraq, müxtəlif olur. Coğrafi en dairəsindən asılılıq Yerə nəhəng maqnit olması (güclü maqnit sahəsinə malik olması) ilə əlaqədardır. Bu səbəbdən də, kosmik şüalar, yüklü zərrəciklər seli olaraq, Yerə maqnit sahəsinin təsiri altında onun ekvatorundan qütblərinə tərəf meyli edirlər. Həqiqətən də, ekvatorun dəniz səviyyəsində olan hissələrində kosmik şüalanma dozası minimal (~ 0.35 mZv/il tərtibində) olduğu halda, yenə də dəniz səviyyəsində, lakin ekvatorun kənarında (məsələn, 50° en dairəsində) yerləşən coğrafi ərazilərdə ~ 0.5 mZv/il qədər olur. Məsələn, belə yüksək dozanın təsirinə London, Meksika, Nyu-York kimi şəhərlərin sakinləri məruz qalırlar.

Hava və su buxarından təşkil olunmuş qalın atmosfer təbəqəsi, Yer üçün örtük rolunu oynamaqla, onu kosmosdan gələn şüaların təsirindən mühafizə edir. Aydınır ki, atmosfer təbəqəsinin qalınlığının azalması (yüksəkliyin artması) kosmik şüalanmanı yaradan zərrəciklərin sürətini azaldan və onların çoxlarını tamamilə dayandıran təbəqənin təsirinin azalması kimi qəbul olunmalıdır. Buna görə də yüksəkliyin azalması kosmik şüalanma dozasının artması ilə nəticələnə bilər. Doğrudan da $4500 m$ yüksəklikdə kosmik şüalanma dozası $3 mZv/il$, Everest zirvəsində ($8848 m$) isə təxminən $8 mZv/il$ təşkil edir. Yer kürəsi əhalisinin böyük əksəriyyəti okean - dəniz kənarında (dəniz səviyyəsində) yaşadığından belə yüksək şüalanmaya məruz qalanlar azlıq təşkil edirlər. Bu səbəbdən də kosmik şüalanma dozasının orta gücü Yer sakinləri üçün çox da böyük olmayıb, $\sim 0.3 mZv/il$ ($0.03 mkZv/saat$) - a bərabərdir.

Şəkil 5.5 - də radiasiya fonunun insan orqanizminə təsir edən əsas komponentləri təsvir olunmuşdur.

Qeyd edək ki, vaxtaşırı uçuşlar həyata keçirən təyyarə ekipajı və onun səfərlərini nisbətən qısa müddətli, lakin daha intensiv şüalanmaya məruz qalırlar. Məsələn, $4 km$ -dən $12 km$ -ə qədər qalxan zaman (bu yüksəklik transkontinental avialaynerlərin uçuş yüksəkliyidir) kosmik şüalanma dozası 25 dəfəyə qədər artır. Səsdən iti sürətlə hərəkət edən reaktiv təyyarələrin uçuşlarının həyata keçdiyi $20 km$ -ə qədər yüksəkliklərdə isə kosmik şüalanma dozası $13 mkZv/saat$ - a çatır.



Şəkil 5.5. Radiasiya fonunun insan orqanizminə təsir edən əsas komponentlərinin təsviri.

Burada müddət faktorunun da xüsusi əhəmiyyət kəsb etməsi diqqətdən yayınmamalıdır. Belə ki, əgər Nyu - Yorkdan Parisə uçan zaman adi turboreaktiv təyyarənin səfərini $50 mkZv / saat$ - a bərabər doza qəbul edərsə, səsdən sürətli reaktiv təyyarənin səfərinin daha intensiv şüalanmaya məruz

qalmasına baxmayaraq, ondan təxminən 20 % az şüalanma dozası qəbul edir. Bunun səbəbi, aydındır ki, ikinci halda uçuşun kifayət qədər qısa müddətli olmasıdır.

Ümumiyyətlə götürüldükdə, hava nəqliyyatından istifadə hesabına il ərzində insanlar orta hesabla 2000 insan·Zv qədər kollektiv effektiv ekvivalent doza qəbul edir

Mütəxəssislər kosmik şüalanma mənbələrini mənşəyinə görə 3 növə ayırırlar. Birinci növə Qalaktik şüalanma mənbələri aid edilir. Bu halda hesab edilir ki, kosmik radiasiya (şüalanma) bizə Günəş sistemindən kənarında yerləşən uzaq ərazilərdən gəlir. İkinci kosmik şüalanma mənbəyi rolunu Yer kürəsinin ətrafında sirkulyasiya edən yüklü zərrəciklər seli oynayır. Üçüncü şüalanma mənbəyi isə Günəşdə vaxtaşırı baş verən güclü partlayışların yaratdığı şüalanma selidir.

Ayrı - ayrı kosmik şüalanma mənbələri üzərində ətraflı dayanaq.

a) Qalaktik radiasiya. Qalaktik radiasiyanın fiziklərə yaxşı məlum olmasına və onun uzun illərdən bəri ətraflı öyrənilməsinə baxmayaraq, bu şüalanmanın mənşəyi hələ də aydınlaşdırılmamış qalır.

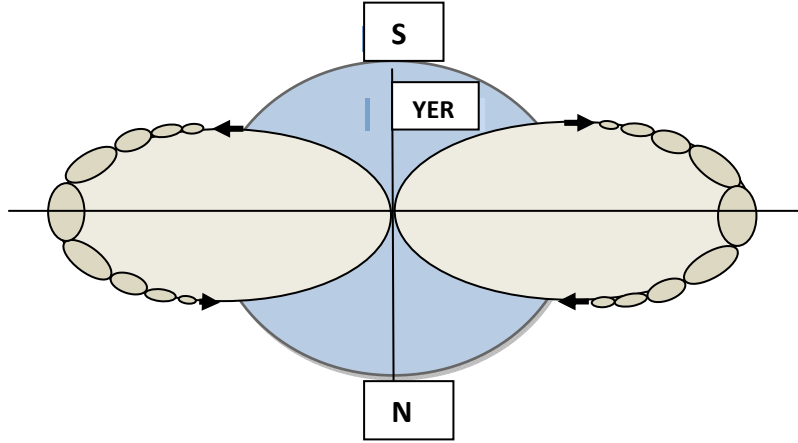
Qalaktik şüalanmanın tərkibinin öyrənilməsi onun əsas etibarlı ilə orbital elektronlarını itirmiş hidrogen və helium atomları, yəni protonlar və α - zərrəciklər seli olmasını, bunların da misli görünməmiş böyük sürətə - işıq sürətinə yaxın sürətə malik olmalarını göstərir. Yüksək enerjiyə malik bu cür ağır nüvələr kosmos üçün xarakterik olan nadir şüalanma yarada bilirlər. Belə şüalanmanı "Apollon -II" gəmisində Aya uçuş zamanı astronautlardan biri qaranlıq kamerada istirahət edərkən müşahidə etmişdir. Dəqiqədə 1-2 dəfə görünə bilən bu cür gur işıq parıltısını Aya növbəti uçuş edən astronautlar da görə bilmişlər. Müxtəlif astronautlar bu hadisəni müxtəlif formada təsvir edə bilmişlər. Bəziləri bunu işıq saçan ulduz, bəziləri isə işıq saçan bulud kimi qəbul etmişlər.

Maraqlıdır ki, bu şüalanmanı astronautlar bağlı gözlə və tam qaranlıq kamerada da müşahidə etmişlər. Bu səbəbdən də, çox yüksək enerjiyə malik zərrəciklərin mövcudluğu, onların da astronautların yerləşdiyi kameranın divarlarını və onların göz qapağını asanlıqla deşib keçməklə, tor təbəqəsinə təsir edə bilmələri fərz edilir. Kosmik mənşəli bu növ zərrəciklər çox böyük enerjiyə malik olmaqla yanaşı (H), həm də böyük ölçü və böyük atom kütləsinə (Z) malik olurlar. Buna görə də həmin zərrəciklər elmə HZE - zərrəcikləri kimi məlumdur (Холл Э.Дж., 1989; Усманов С.М., 2001). Bu zərrəciklərin hər birinin öz yollarında çoxlu sayda funksional beyin hüceyrələrini parçalaya bilmələrinə baxmayaraq, Qalaktik radiasiya dozasının gücü çox böyük olmadığından, onlar kosmonavt və astronautlar üçün letal sonluqla nəticələnmir, yəni onlar üçün öldürücü olmur.

b) Yerin radiasiya qurşaqlarının şüalanması. Yerin radiasiya qurşaqları dedikdə, onun maqnit sahəsinin tutub saxladığı yüklü zərrəciklərin əmələ gətirdiyi ərazilər başa düşülür. Bu zərrəciklər Yerin ətrafında sirkulyasiya edərək, kosmik zərrəciklər selindən bir neçə tərtib böyük olan sel yaradırlar.

Məlum olduğu kimi, maqnit sahəsində hərəkət edən hər bir yüklü zərrəciyə maqnit sahəsinin induksiya vektoru, zərrəciyin sürəti və yükü ilə düz mütənəsb olan Lorens qüvvəsi ($F_L = Bq v \sin \alpha$) təsir edir. Lorens qüvvəsinin təhlilindən aydın olur

ki, zamana görə dəyişməyən maqnit sahəsi hərəkət edən yüklü zərrəciyin sürətinin yalnız istiqamətini dəyişə bilər. Bu halda zərrəciyin sürətinin ədədi qiyməti (və enerjisi) dəyişə bilməz. Yer in dipol maqnit sahəsində isə (hətta o, sabit qaldıqda belə) yüklü zərrəciyin hərəkəti mürəkkəb xarakterli olacaq. Bu zaman, əgər yüklü zərrəciyin enerjisi çox da böyük deyilsə, o, maqnit sahəsinin qüvvə xətləri boyunca spiralvari hərəkət edəcək və qüvvə xətləri boyunca maqnit sahəsinin induksiyası getdikcə azaldığından, hər dəfə spiralın addımı azalacaq və müəyyən bir nöqtədə (əks olunma nöqtəsində) sıfır olacaq. Bundan sonra zərrəcik əks olunaraq, həmin formada əks istiqamətdə hərəkət edəcək (şəkil 5.6.).



Şəkil 5.6. Yüklü zərrəciyin Yer in dipol maqnit sahəsində xarakterik hərəkətinin təsviri.

Kosmik şüalanma zərrəcikləri, istənilən yüklü zərrəciklər kimi, Yer in maqnit sahəsinə keçərkən meyil etməlidirlər. Bu zaman Yer səthinə yalnız o zərrəciklər çata bilərlər ki, onların enerjisi Yer in maqnit sahəsinin meyletdirici təsirinə üstün gələ bilsin. Aydın ki, Yer in maqnit sahəsinin ən güclü meyletdirici təsiri onun geomaqnit ekvatorunda olmalıdır. Maqnit qütbləri oblastında isə yüklü zərrəciklər maqnit qüvvə xətləri istiqamətində meyil etmədən Yerə çata bilərlər. Dediklərimizdən aydın olur ki, Yer in maqnit sahəsi zərrəcikləri enerjilərinə görə ayıra bilər.

Yer in radiasiya qurşaqlarının əsasən elektronlar və protonlar selindən ibarət olması müəyyən edilmişdir. Yüksək enerjiyə malik olmadıqları üçün onların yaratdığı şüalanma kosmik gəminin aliminium korpusundan çox çətinliklə keçə bilərlər. Buna baxmayaraq, kosmik gəminin radiasiya qurşağından keçməsi zamanı kosmonavtın məruz qaldığı doza gücü 0.1 Qr/saat və daha yüksək həddə çata bilər. Asanlıqla göstərmək olar ki, bir neçə saat ərzində gəminin bu şüalarla ekspozisiya olunması kosmonavtlar üçün letal sonluqla nəticələnə bilər. Buna görə də, uçuşlar planlaşdırılarkən kosmik gəminin radiasiya qurşağında qalma vaxtının kifayət qədər az

olmasına çalışılır və geomaqnit radiasiya sahəsinin təsirini azaltmaq üçün bir neçə həftə, ay və ya il üçün nəzərdə tutulmuş uçuşlar kicik hündürlüklərdə (100 - 200 km) həyata keçirilir.

c) Günəş şüalanması. Günəş şüalanmasını, qeyd etdiyimiz kimi, onun səthində vaxtaşırı baş verən partlayışlar yaradır (şəkil 5.7).



Şəkil 5.7. Günəşdə baş verən partlayışların təsviri.

Günəşdən gələn kosmik şüalar, əsasən, geniş enerji diapazonuna malik protonlar selidir. Bəzən bu selə müəyyən miqdarda α - zərrəciklər də daxil olur. Günəşin səthində partlayışın yaratdığı ilk parıltı görünəndən təxminən 15 dəqiqədən sonra yüklü zərrəciklər Yerə çata bilirlər.

Günəş partlayışları (parıltısı) kosmik uçuşlar keçirən kosmonavtların həyatı üçün böyük radiasiya təhlükəsi yaradır. Aktiv Günəş partlayışları qısa müddətli olur və müəyyən müddətdən sonra (hər 11 il - dən bir) təkrarlanır. Günəş aktivliyinə uyğun piklər (zirvə) 1948, 1959, 1970, 1981, 1992 və 2003 -cü illərdə müşahidə olunmuşdur.

Atmosferin yuxarı sərhəddinə çatan Günəş şüalanmasında infraqırmızı şüalar üstünlük təşkil edir ($\sim 55\%$). Bu şüalar, atmosferi sərbəst keçərək, Yerin sətinə çatır və torpaq - okeanları isidirlər. Günəş şüalanmasının $\sim 40\%$ - ni işə spektrin görünən hissəsi təşkil edir. Görünən işıq, məlum olduğu kimi, mürəkkəb fotosintez maşınına işə salır və bizə ətraf mühitdə istiqamətləri seçməyə, onun bütün gözəlliklərini görməyə imkan verir.

Günəş şüalanmasının qalan hissəsi (5% - i) dalğa uzunluğu 100 m - dən 400 m - ə qədər olan ultrabənövşəyi şüaların payına düşür.

Günəşin elektromaqnit şüalanması. Günəşin elektromaqnit şüalanmasını görünən işıq, infraqırmızı, ultrabənövşəyi, rentgen, γ - şüalanma və radiodalğalar

oblastında olan şüalanmalar təşkil edir. Eyni fiziki təbiətə malik olan bu şüalanmalar elektromaqnit dalğaları adlanır və bir-birindən yalnız dalğa uzunluqlarına görə fərqlənir. Elektromaqnit dalğalarının dalğa uzunluğu onların enerjilərini müəyyən edir ki, bu da verilmiş növ şüalanmanın dağıdıcı təsirini və müxtəlif mühitlərə daxil olma qabiliyyətini müəyyən edir. Dalğa uzunluğu nə qədər kiçik olarsa, şüalanmanın enerjisi o qədər böyük olur və şüaların qarşılıqlarına çıxan mühitlərə daxil olması o qədər asan olur. Məsələn, rentgen şüaları ilə görünən işıq bir-birindən yalnız dalğa uzunluqlarına görə fərqlənirlər. Rentgen şüalarının dalğa uzunluğu görünən işığın dalğa uzunluğundan dəfələrlə kiçik olduğundan bu şüalar insan bədənini sərbəst keçə bildiyi halda, görünən işıq bədənə çatmadan paltar tərəfindən udulur.

Qeyd edək ki, Yer in səthinə çatan Günəş enerjisinin təxminən yarısı spektrin görünən oblastının payına düşür.

Günəşin ultrabənövşəyi şüalanmasını dalğa uzunluğundan asılı olaraq, *A*, *B* və *C* kimi 3 diapazona ayırırlar. Bu halda *A* diapazonu – dalğa uzunluğu 320 - 400 nm aralığında olan *UB* - şüalanmaya, *B* diapazonu - dalğa uzunluğu 280 - 320 nm aralığında olan *UB* - şüalanmaya, *C* diapazonu isə dalğa uzunluğu 200 - 280 nm aralığında olan *UB* - şüalanmaya uyğun gəlir.

A diapazonuna uyğun *UB* -şüalanması atmosferin ozon təbəqəsi tərəfindən udulmur və onun bioloji təsiri hələ də kifayət qədər öyrənilməyib. Bu diapazonda olan şüalanma yalnız bəzi kimyəvi maddələrlə birgə təsir edərkən insan sağlamlığı üçün real təhlükə rolunu oynaya bilər.

UB - *B* şüaları, bu baxımdan, təhlükəli şüalar hesab olunur. *UB* - *A* şüaları ilə müqayisədə 1000 dəfəyə qədər daha təhlükəli olan bu şüalar atmosferin ozon təbəqəsindən keçə bilmədiklərindən insan sağlamlığına əhəmiyyətli zərər verə bilmirlər.

Ən kiçik dalğa uzunluqlu *UB* - *C* şüaları isə kifayət qədər zərərli təsirə malik olurlar. Xoşbəxtlikdən bu şüalar da Yer atmosferi tərəfindən tamamilə səpildiyindən, onlar Yer atmosferini deşib keçərək bizə çata bilmirlər. Əks halda onlar dərimizin üst təbəqəsi tərəfindən udularaq, onu tamamilə yandırardılar.

Bütün bunlara baxmayaraq, Günəşin *UB* -şüalanması kiçik dozalarda insan və heyvanlara yaxşı təsir göstərir. Bunun səbəbi adı çəkilən şüaların təsiri ilə dəri örtüyündə zülalların parçalanması və nəticədə müdafiə qabiliyyətli maddələrin yaranmasıdır. Tibbi müayinələrin nəticələri göstərir ki, Rusiyanın şimal əyalətlərində *UB* - şüalanmanın kifayət qədər olmaması səbəbindən uşaqların pnevmoniya ilə xəstələnməsi, cənub əyalətləri ilə müqayisədə, 2 dəfə, raxitlə xəstələnməsi isə 2.5 - 3.0 dəfə yüksək olur. Bu şüalanma növü insan, heyvan və quş orqanizmlərində, həmçinin kalsium mübadiləsini tənzimləyən D_3 vitamininin yaranmasına zəmin yaradır (Усманов С.М., 2001).

Yüksək dozalarda *UB* - şüalanmanın tamamilə əks təsir göstərməsinə dair kifayət qədər məlumatlar mövcuddur. Bu şüalanmanın təsiri ilə hüceyrələrin mühüm hissələrinin parçalanması baş verir və hüceyrədə DNT - nin bölünməsi və RNT - nin sintezi proseslərini ləngidən maddələr yaranır. Dəri şişlərinin yaranma tezliyi ilə *B* -

diapazonunda *UB* - şüalanmanın dozası arasında düz asılılığın mövcud olması faktları məlumdur (*Усманов С.М., 2001*).

BMT -nin ekspert komissiyasının gəldiyi rəyə əsasən ozon təbəqəsinin 10 % azalması dəri xərçəngi hallarının 26 % artmasına səbəb ola bilər (*HKДAP, 1982*). *UB* - şüaların təsiri ilə xərçəng xəstəliyinin yaranma səbəbini aydınlaşdırmağa çalışarkən aydın olmuşdur ki, *UB* - *B* şüalarının təsiri ilə DNT - də zədələnmələr baş verir. Buna səbəb kimi, həm atomlararası rabitələrin qırılması, həm də ikiqat spiralın ayrı - ayrı elementləri arasında əlavə körpü - rabitələrin yaranması göstərilir.

Məlum olduğu kimi, hər bir hüceyrə genetik proqramlaşdırılmış DNT zədələnmələrini "təmir etmək" mexanizminə malikdir və hüceyrə əksər hallarda bu funksiyanın öhdəsindən gələ bilər. Əgər şüalanma kvantı birbaşa DNT -ni "təmir" edən genin üzərinə düşürsə, onda bu mexanizm sıradan çıxır.

Son illər *UB* - şüaların *Lanqerqans* hüceyrələrinin işini tormozlamaqla, insan orqanizminin immun sistemində güclü təsirin göstərə bilməsinə dair faktlar da müəyyən edilmişdir. Elmi ədəbiyyatda *UB* - şüaların, qazanılmış immun çatışmazlığı sindromu (*QİÇS, AIDS* - ingiliscə, *SPİD* - rusca) da daxil olmaqla, bir çox virusları fəallaşdırma bilməsinə dair məlumatlara da rast gəlmək olur (*Усманов С.М., 2001*). Hesab olunur ki, bu səbəbdən də Günəş şüalarında qaralmağa meyilli insanlarda virus xəstəlikləri daha ağır formada keçir.

İndi də *UB* - şüaların təsirində əhəmiyyətli rola malik olan Yer in ozon örtüyü haqqında məlumatlarla tanış olaq. Məlum olduğu kimi, Yer atmosferinin ozon tərkibi, ümumi tərkiblə müqayisədə, çox kiçikdir. Belə ki, ozon, ümumi atmosferin yalnız $4 \cdot 10^{-7}$ % - ni təşkil edir. Buna baxmayaraq, planetimizdə həyatın yaranması və bu günə qədər də inkişaf edərək mövcud olması məhz ozon təbəqəsinin hesabınadır.

Ozon (O_3) – oksigenin ikinci, nisbətən dayanıqlı birləşməsidir və o da, adi O_2 forma kimi, oksigen yarada bilər. Atmosferdə oksigen mövcud olan gündən ozon da mövcud olmuşdur. Ozon təbəqəsi qısdalğalı *UB* - şüaları uşa bildiyindən o, mövcud olan andan Yerdə canlıların müdafiəsi rolunu həyata keçirməyə başlamışdır. Bu səbəbdən də, suda yaşayan canlıların Yer in səthinə qalxması, suda - quruda yaşayanların və sonradan heyvanların əmələ gəlməsinə zəmin yaranmışdır.

Ozon təbəqəsinin 230 nm - dən 300 nm - ə qədər bütöv udulma spektri bioloji aktiv oblastı əmələ gətirir. Məlum olduğu kimi, nuklein turşuları γ - şüaları məhz bu diapazonda (240 - 300 nm) udurlar. Həmçinin də nuklein turşuları zülal örtüyünə malikdir ki, o da, 250 - 400 nm intervalında udulma zolağına malikdir. Bu səbəbdən də nuklein turşuları Günəş radiyasının hüceyrənin ölümünə və yaxud da mutasiyasına səbəb ola bilən təsirdən tamamilə mühafizə olunurlar.

Strotosferin ozon təbəqəsinin azalması bəşəriyyət üçün fəlakətlə nəticələnə bilər. Ozon təbəqəsi insanları və bütövlükdə canlı təbiəti Günəşin sərt *UB* və yumşaq rentgen şüalarından qoruyan yeganə nazik ekran təbəqəsidir. Bu gün minlərlə güclü raketlərin buraxılması, atmosferin yuxarı qatlarında reaktiv təyyarələrin gündəlik uçuşları, atom və istilik-nüvə silahlarının sınaqdan keçirilməsi, təbii ozonator rolunu oynayan milyonlarla hektar meşələrin yanğınlar hesabına və vəhşicəsinə qırılmaqla

məhv edilməsi, texnikada, ətriyyat sənayesində və məişət kimyasında freonlardan kütləvi şəkildə istifadə edilməsi Yer atmosferinin ozon təbəqəsini dağıdan əsas faaktorlardır. Bu səbəbdən də, son illər Yer kürəsinin Şimal və Cənub qütblərində hər birinin sahəsi 10 mln. km^2 -dən çox olan nəhəng “ozon dəşikləri” (az konsentrasiyalı ozon sahələri) əmələ gəlmişdir. Belə sahələrə daha çox Rusiyanın və əksər Avropa ölkələrinin üzərində rast gəlmək olar.

Yerin ozon ekranının dağılması insan sağlamlığına və canlı təbiətə neqativ təsir edən bir sıra aşkar və gizli hallarla müşayiət olunur. Günəşin, görünən işıqdan 50-100 dəfə böyük enerjiyə malik rentgen və *UB* - şüaları həmin yerlərdən sərbəst keçərək, güclü meşə yangınları üçün real şərait yaradır. Məsələn, 1996 - cı ildə Rusiyada rekord sayda meşə yangınları baş vermişdir ki, nəticədə 2 mln. hektar -a qədər meşə sahəsi yanıb məhv olmuşdur. Yangınlar nəticəsində (təkcə meşə yangınları yox) istiliklə bərabər külli miqdarda karbon qazı yaranır ki, bu da, Yeri kosmosun soyuğundan qoruyan termoizoləedici təbəqənin yaranmasına səbəb olur. Termoizoləedici təbəqə isə, öz növbəsində, Yerin ətrafında istiliyin toplanmasına zəmin yaradır. Son nəticədə karbon qazının və istiliyin artıq miqdarda toplanması “istixana effekti” adlanan effektin yaranması ilə nəticələnir. Belə qənaətə gəlmək olar ki, bu formada artma tendensiyası gələcəkdə planetimizin Venera planetinə, yəni yüksək temperaturlu və yüksək karbon qazı tərkibli planetə çevrilməsinə səbəb ola bilər.

Yer atmosferinin karbon qazı ilə zənginləşməsində müxtəlif istilik maşın və mexanizmlərinin, istilik elektrik stansiyalarının və s. rolu da böyükdür.

Qeyd edək ki, ozon “dəşiklərinin” yaranmasına dair “kimyəvi versiyası” heç də bütün alimlər müdafiə etməirlər. Məsələn, nüfuzlu ingilis alimləri qrupu ozon qıtlığının yaranmasının yalnız 30% - nin freonun hesabına olması qənaətinə qəlmışlər. Azalmanın 70 % - nin səbəbi isə məlum deyildir. Digər bir qrup alimlər isə freonun ozonun azalmasında ümumiyyətlə rolunun olmadığını söyləyirlər. Onların fikrincə, ozon difisitinin yaranmasının başlıca səbəbi atmosfer sirkulyasiyası ilə bağlı klimatik dəyişmələr, kosmik şüalanma və Günəş aktivliyinin dəyişməsidir. “Tayfun” Elmi İstehsalat Birliyinin alimləri A. Qavrilov və O. Kaydanov da atmosfer dəyişmələri ilə “ozon dəşiklərinin” yaranma tezliyi arasında müəyyən korrelyasiyanın olmasını müəyyənləşdirə bilmişlər. Tanınmış fizik Andrey Petroviç Kapitsa isə “ozon dəşiklərinin” yaranmasında təbii faktorların başlıca rola malik olması fikrinin tərəfdarıdır. Alim həmçinin də hesab edir ki, “ozon dəşiklərinin” insan sağlamlığı üçün təhlükəli olması əhəmiyyətli dərəcədə şişirdilir (*Усманов С.М., 2001*).

Maraqlıdır ki, əmələ gələn “dəşiklər” bərpa olunmağa meylli olurlar. Müəyyən edilmişdir ki, Rusiya üzərində “ozon dəşikləri” hər iki ildən bir yaranır və onların yaranma səbəbləri aydın olmur.

Qeyd edək ki, bir - birinə zidd fikirlərin olmasına baxmayaraq, Ümumdünya Səhiyyə Təşkilatının mütəxəssislərini stratosfer ozonunun azalması çox narahat edir. Narahatçılığa başlıca səbəb kimi *UB* - şüalanmasının artması göstərilir.

BMT - nin ətraf mühitə dair hesablamalarının nəticələrinə əsasən hər il

dünyada 2 mln. - dan çox dəri xərcəngi şişi və 200 min - ə qədər dəri melanom xərcəngi qeydə alınır. Hesablamalar göstərir ki, stratosferdə ozonun miqdarının ~10 % azalması əlavə olaraq ildə 300 min - ə qədər melanomsuz, 4.5 min isə melonomlu dəri xərcənginin yaranmasına səbəb ola bilər. İldə 16 mln. - a qədər insan kataraktın inkişafı nəticəsində görmə qabiliyyətini itirirlər ki, bunun da ~ 20 % - nin UB -şüaların payına düşdüyü hesab olunur. Ekspertlərin fikrincə, Günəşin UB - şüalarının yaratdığı kataraktların sayı stratosferdə ozonun miqdarının 1% azalması zamanı 0.5% arta bilər (HKДAP OOH, 1982).

Ozon örtüyünün vəziyyəti son onilliklərdə daha çox diqqət mərkəzində olmuşdur. Bu, 1987 - ci ildə Antarktida üzərində ən böyük “ozon deşiyinin” müəyyən edilməsi ilə əlaqədar olmuşdur. Bu ərazidə əvvəlki illərlə müqayisədə atmosferdə ozonun miqdarı Yer səthi yaxınlığında 15 %, 18 km yüksəklikdə isə 50 % -ə qədər azalmışdır. Qeyd edək ki, ozonla zəngin hava təbəqəsi 10 km - dən 50 km - ə qədər uzanır və ~ 20 km hündürlükdə ozonun konsentrasiyası maksimum olur.

Antarktida üzərində yaranmış bu vəziyyət UB - şüalanma səviyyəsinin, digər materiklərlə müqayisədə, xeyli böyüməsinə səbəb olmuşdur. Məsələn, 1998 - ci ildən UB - şüalanma dinamikasına dair müşahidələr aparən amerikanın Mak-Merdo stansiyası (Rossa dənizinin eyni adlı körfəzinin sahilində yerləşən) 1993 -cü ildə şüalanmanın rekord həddə çatması (~ 44 % artması) faktını qeydə almışdır. Materikin sonunda Mak-Merdo stansiyasının əks tərəfində yerləşən Antarktida yarımadasının Palmer stansiyasında isə UB - şüalanması əvvəlki illərlə müqayisədə 55% artmışdır. Antarktida proqramı üzrə işləyən amerika alimləri ozon təbəqəsinin nazıqlaşmasının fitoplanktonlara hansı formada təsirinə dair tədqiqatlar aparırlar. İlk tədqiqatlar göstərmişdir ki, UB -şüalanma səviyyəsinin artması fitoplanktonların məhsuldarlığının 6-12 % -ə qədər azalmasına səbəb olmuşdur (Усманов С.М., 2001).

2000 - ci ilin oktyabr ayının əvvəlində Yer kürəsinin Cənub qütbünün üzərində yaranmış “ozon deşiyinin” tutduğu ərazi 28.3 mln. km² - ə bərabər olmuşdur. Müqayisə üçün qeyd edək ki, bu sahə ABŞ - in tutduğu ərazidən 3 dəfəyə qədər çoxdur. Bu ərazidə Yeri Günəş radiyasından qoruyan ozonun miqdarı 50 % - ə qədər azalmışdır. Əvvəllər yalnız Cənub polyar dairəsinin boş səhralıqlarını əhatə edən bu ərazilər indi Argentinanın, Çilinin və Folklend adalarının əhalisi üçün də real təhlükə mənbəyinə çevrilmişdir. Argentinanın Uşuay şəhərinin 30 min - lik və Çilinin Punta-Arenas şəhərinin 120 min - lik əhalisi UB - şüalanmanın daha yüksək təsirinə məruz qalırlar. Yerli Səhiyyə Təşkilatlarının xəbərdarlığı əsasında bu şəhərlərin əhalisi saat 11 - dən 15 - dək açıq səma altında olmur, başı örtüksüz, tünd eynəksiz, uzun qollu köynəksiz küçəyə çıxmırlar. Bunlara riayət etməyənlər isə Günəş altında cəmisi 7 dəqiqə qaldıqdan sonra əksər hallarda dəri xərcənginə gətirib çıxaran ağır yanıqlar alırlar. Ən əsası isə odur ki, bu formada “Günəş təhlükəsinin” nə qədər vaxta qədər davam edəcəyi heç kəsə bəlli deyil.

Görəsən atmosferdə ozonun miqdarının normadan artıq olması necə, yaxşıdır mı ? Təkcə böyük yüksəkliklərdə deyil, həmçinin də 10 km - ə yaxın yerüstü atmosferdə mövcud olan ozon böyük konsentrasiyalarda bizim ağı ciyərlərimizi

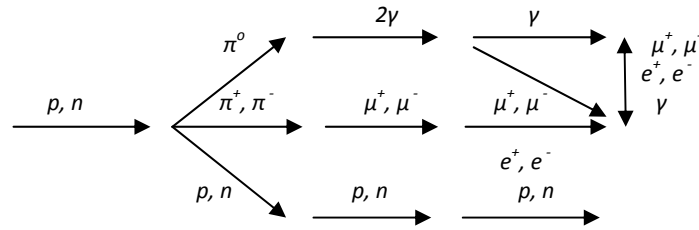
“yandıra” bilər. Belə ki, güclü oksidləşdirici olan ozon toksikiliyinə görə sianid turşusunu da üstələyir.

Beynəlxalq Səhiyyə Təşkilatının standartlarına görə ozonun atmosferdə yol verilən konsentrasiya həddi 100 mkq/m^2 qədər (hava molekullarının ümumi sayının iyirmi milyonda bir hissəsi qədər) olmalıdır. Bu hədd 2 dəfə artanda nəfəs yollarında problemlər (öskürək, xırıltı və s.) yaranır. Əgər ozonun miqdarının artması havaya təravətlilik ətri verirsə, bu onun konsentrasiyasının dəfələrlə (~ 10 dəfə) artmasını göstərir. Yalnız belə olan halda insan onu hiss edə bilər. Belə konsentrasiyalarda ozon çoxlu sayda bakteriya və mikriorqanizmləri məhv edir ki, bu da, məlum olduğu kimi, fizioterapiyanın əsasını təşkil edir. Qapı və pəncərələri bağlı olan otaqda ozonun miqdarı kritik kiçik həddə olur. Buna səbəb onun çox asanlıqla divar və ev əşyaları ilə (əsasən metal və rezin əşyalarla) reaksiyaya girərək neytrallaşmasıdır.

5.1.2. İkinci kosmik şüalanma. Kosmik şüalar, artıq qeyd etdiyimiz kimi, Yer in səthinə əsasən Kainatın dərinliklərindən gəlib çatır. Daha dəqiq desək, yaşadığımız planet fasiləsiz olaraq, həm ulduzlararası fəzadan, həmçinin də Günəşdə baş verən partlayışlar zamanı Günəşin özündən gələn kosmik şüalanmanın təsirinə məruz qalır.

Kosmik şüaların, ya bilavasitə özləri Yer in səthinə çatır, ya da onlar, Yer in atmosferi ilə qarşılıqlı təsir nəticəsində müxtəlif radionuklidlər əmələ gətirməklə, ikinci şüalanma yaradırlar.

Bu proses təxminən aşağıda göstərilən sxem üzrə baş verir (şəkil 5.8.)



Şəkil 5.8. Atmosferdə kosmik zərrəciklər selinin yaranma sxemi.

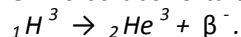
İlkin kosmik şüalanmanın yüksək enerjili protonlardan, helium ionlarından, elektronlardan və neytronlardan ibarət olmasını qeyd etmişdik. Yer in maqnit sahəsi kiçik enerjili yüklü zərrəcikləri meyhl etdirməklə, onların atmosferə daxil olmasına imkan vermir. Yüksək enerjili zərrəciklər isə atmosferin üst qatlarına daxil ola bilərlər və orada onlar atmosfer zərrəciklərinin nüvələri ilə qarşılıqlı təsirdə olaraq, ^{14}C , ^3H , ^7Be , ^{10}Be , ^{22}Na və ^{24}Na kimi radionuklidlər yarada bilən nüvə reaksiyaları törədirlər. Belə reaksiyalar nəticəsində həm də yeni nüvə reaksiyaları yarada bilən yüksəkenerjili protonlar, neytronlar, pionlar və kaonlar yaranır. Son nəticədə atmosferin alt qatlarına daxil ola bilən və bununla da biotun şüalanmasına səbəb ola bilən kosmik sel - ikinci kosmik şüalanma yaranır.

Bu prosesdə neytron öz enerjisini itirərək, qismən də olsa azot atomları

tərəfindən zəbt olunmaqla, radioaktiv ^{14}C izotopunu yaradır: $n + ^{14}\text{N} \rightarrow ^{14}\text{C} + p$.

C^{14} izotopunun xarakterik xüsusiyyəti onun 5730 il -ə bərabər böyük yarımparçalanma perioduna malik olmasıdır. Həmçinin də, məlum olduğu kimi, üzvü maddələrin əsas tərkib hissəsini təşkil edən karbon canlı və cansız təbiət arasında fəal mübadilədə iştirak edir və bu mübadilənin nəticəsində bütün canlı orqanizmlərdə C^{12} ilə yanaşı, az miqdarda da olsa, C^{14} izotopu mövcud olur.

Tritium (H^3) - kosmik neytronların azot və oksigen nüvələri ilə reaksiyası nəticəsində yaranır. Yarımparçalanma periodu 12.3 il olan H^3 izotopu aşağıdakı sxem üzrə parçalanaraq, 5.69 keV -ə bərabər orta enerjili elektronlar seli yaradır:



Suda yaxşı həll olduğundan atmosferdə yaranan tritiumun çox hissəsi su dövriyyəsində iştirak edir və bu səbəbdən də ən çox iri çaylarda və dənizlərdə toplanır.

Qeyd etdiklərimizi ümumiləşdirməklə deyə bilərik ki, biosferə, mion və elektronlardan təşkil olunmuş ikinci kosmik şüalanmanın ionlaşdırıcı komponenti ilə yanaşı, həm də neytron komponenti təsir edir.

Yer səthində verilmiş ərazi üçün kosmik şüalanma səviyyəsinin kifayət qədər stabil olmasına baxmayaraq, bu səviyyə geomagnit en dairələrində müxtəlif olmaqla yanaşı, həm də, hündürlükdən asılı olaraq, dəyişə bilər. Daha dəqiq desək, əhalinin şüalanmaya məruz qalma dərəcəsi yüksək dağlıq ərazilərdə əhəmiyyətli dərəcədə yüksək olur. Buna baxmayaraq, nisbətən aşağı hündürlüklərdə belə, bəzən təbii torpaq mənbələrinin yaratdığı xarici şüalanma onun normal dəyişmə həddlərini aşsa bilər. Bu ərazilərdə əhalinin illik doza şüalanması, normal radiasiya fonunda yaşayan əhali ilə müqayisədə, bir tərtibdən də çox olur.

Cədvəl 5.1-də dəniz səviyyəsində normal fona malik ərazilər üçün təbii şüalanma mənbələrinin illik effektiv doza qiymətləri göstərilmişdir.

Qiymətlərdən göründüyü kimi, xarici şüalanma dozasına əsas töhvəni ionlaşdırıcı komponent verir. Bu komponent atmosferin yuxarı qatlarında yüklü pionların parçalanması zamanı yaranan mionlardan və, həm ionlaşma nəticəsində, həm də kaskad proseslərində mionların parçalanmasından yaranan elektronlardan ibarət olur. Bu rəqəm təxminən 280 mkZv - ə bərabər olur.

Nisbətən kiçik şüalanma dozası bu zaman primordial nuklidlərin payına düşür ki, bunlardan da 120 mkZv -i kalium, 90 mkZv -i U^{238} izotopunun ailə üzvləri, 140 mkZv -i isə Th^{232} ailəsinin nuklidləri yaradır. Bu prosesdə daxili şüalanmada kosmogen nuklidlərin payı çox az (15 mkZv), K^{40} və uran - torium sırası nuklidlərinin payı isə nisbətən böyük olur (uyğun olaraq, 180 mkZv, 950 mkZv və 190 mkZv).

Belə çıxır ki, xarici şüalanma 650 mkZv, daxili şüalanma isə 1341 mkZv -ə bərabər şüalanma dozası yaradır. Ümumi şüalanma dozası bu halda ~ 2000 mkZv təşkil edir.

Atom Radiasiyasının Təsirinə dair Elmi Komitənin (ARTEK*) məlumatlarına əsasən dəniz səviyyəsində ionlaşdırıcı komponent bir saniyədə hər kub santimetr həcmdə 1.9 – 26 ionlaşma yarada bilər. Bu zaman neytronlar selinin sıxlığı $8 \cdot 10^{-3} \text{ sm}^{-2} \cdot \text{san}^{-1}$ həddində olur (HKDAP OOH, 1982).

Cədvəl 5.1.

Dəniz səviyyəsində normal fona malik ərazilər üçün təbii şüalanma mənbələrinin illik effektiv doza qiymətləri

Mənbə	İllik effektiv doza, mkZv		
	Xarici şüalanma	Daxili şüalanma	Cəmi
Kosmik şüalar			
<i>ionlaşdırıcı komponent</i>	280	-	280
<i>neytron komponenti</i>	20	-	20
Kosmogen nuklidlər	-	15	15
Primordial nuklidlər			
<i>kalium -40</i>	120	180	300
<i>rubidium-87</i>	-	6	6
<i>uran-238 sırasının nuklidləri</i>	90	950	1040
<i>torium-232sırasının nuklidləri</i>	140	190	330
Cəmi	650	1341	2000

Həm ionlaşdırıcı, həm də neytron komponentlərinə aid göstəricilər yüksəklik artdıqca, artır (cədvəl 5.2).

Cədvəl 5. 2.

Kosmik radiasiyanın şüalanma gücünün hündürlükdən asılılığı

Dəniz səviyyəsindən hesablanan hündürlük, km	İonlaşdırıcı komponent, ion cütünün yaranması, $sm^{-3} \cdot san^{-1}$	Neytronlar seli, $sm^{-2} \cdot san^{-1}$
0 – 0.1 (<i>sahilyani ərazi</i>)	1.9 – 2.6	$8 \cdot 10^{-3}$
0.1 – 0.5 (<i>düzənliklər</i>)	2.6 – 3.0	$8 \cdot 10^{-3}$
0.5 – 1.5 (<i>dağətəyi</i>)	3.0 – 5.6	$1.7 \cdot 10^{-2}$
1.5 – 2.5 (<i>alp çəmənlikləri</i>)	5.6 – 6.5	$6.4 \cdot 10^{-2}$
2.5 – 4 (<i>bitki və quşların məskəni</i>)	6.5 – 14.6	$1.8 \cdot 10^{-1}$
10 (<i>mikroorqanizmlərin yığıldığı yer, təyyarə uçuşları</i>)	162	1.4

Qeyd : ARTEK - ingiliscə Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (SCEAR), rusca isə Научный Комитет по Действию Атомной Радиации (НКДАР) adlanır.

Cədvəldən görünür ki, düzənliklərdə bu rəqəmlərdə, sahil zonaları ilə müqayisədə, az artım müşahidə olunduğu halda, dağ ətəklərində (1.5 km - ə qədər yüksəkliklərdə) artım iki dəfəyə qədər olur. Məsələn, zəngin fauna və flora malik Alp yüksəkliyi çəmənliklərində ionlaşdırıcı komponent 3 dəfə, neytronlar seli isə bir tərtib yüksək olur.

Rosenin (Кузун А.М., 1991) aldığı nəticələrə əsasən ekvatorial en dairələrindən qalxan hava axını təyyarə trasları yerləşən 10 km yüksəklikdə mikroorqanizmlər toplaya bilir. Qeyd edək ki, 10 km yüksəklikdə ionlaşdırıcı şüalanma, dəniz səviyyəsi ilə müqayisədə, təxminən bir tərtib, neytronların sıxlığı isə iki tərtib çox olur. Bu yüksəkliklərdə (10-20 km) mikroorqanizmlərin və digər bioloji mənşəli aerosolların kosmik şüalanma intensivliyi ekvatorada ən yüksək, yerin qütbləri üzərində isə ən kiçik olur.

Məlum olduğu kimi, Günəş şüalanması həm Günəşdə baş verən partlayışların intensiv olduğu müddətdə, həm də onun hər 11 il - dən bir təkrarlanan aktivlik tsiklində güclənir. Bu zaman biotun şüalanmasında ən yüksək pay şüalanmanın yaratdığı ^3H , ^{14}C , ^7Be , ^{10}Be , ^{22}Na və ^{24}Na kimi kosmogen radionuklidlərə düşür.

Kosmik neytronların azot və oksigen nüvələri ilə reaksiyası nəticəsində yaranan tritium atomları isə, atmosferdə tritium suyuna çevrilərək, yağıntılarla torpağın səthinə çökür və suyun normal dövriyyəsində iştirak edir. Materiklərdəki sulara tritiumun miqdarının 200 - 900 Bk / m³, okean sularında isə 100 Bk / m³ həddində olması müəyyən edilmişdir (Kaufman S., Libby W.F., 1954).

ARTEK -in hesablamalarına əsasən biosferdə ümumi tritiumun ehtiyatı $1.3 \cdot 10^{18}$ Bk, ayrı-ayrı toxumalarda isə onun orta konsentrasiyası 0.4 Bk/kg həddində olur (HKДAP OOH, 1982).

Neytron və protonların ^{14}N nüvələri ilə reaksiyası nəticəsində yaranan karbon - 14 (^{14}C) izotopu atmosferdə $^{14}\text{CO}_2$ - yə qədər oksidləşir və adi karbon qazı ilə birlikdə fotosintez prosesində biota daxil olur. Bu izotopun bitki və heyvan toxumalarında orta miqdarı hər bir kiloqram karbon üçün 227 Bk qədər olur.

ARTEK -in hesablamaları biosferdə ^{14}C izotopunun ümumi miqdarının $8.5 \cdot 10^{18}$ Bk həddində olmasını və hər il 10^{15} Bk qədər yeni ^{14}C izotopunun yaranmasını göstərir (HKДAP OOH, 1982). Kiçik yaşama müddətinə malik berillium-7 izotopunun (yarımparçalanma periodu 53.6 sutka) torpaqüstü atmosferdə miqdarı $\sim 3 \cdot 10^3$ Bk / m³ qədər olur. Yağış suları vasitəsilə o, bitkilərə, onlardan isə il ərzində 50 Bk miqdarında heyvan və insan orqanizmlərinə daxil ola bilər.

Biosfer bundan da az miqdarda ^{22}Na izotopuna (yarımparçalanma periodu 2.62 il) malik olur. Bu izotopun Yer kürəsində ümumi miqdarı $4 \cdot 10^{14}$ Bk həddində qiymətləndirilir ki, bunun da $8 \cdot 10^{13}$ Bk - i biosferin payına düşür (Кузун А.М., 1991).

5.2. Yer mənşəli radioaktiv şüalanma mənbələri

5.2.1. Yer qabığının radiyasiyası. Yerin dağ süxurlarının radiospektrometrik analizi Yer qabığında mövcud olan əsas radioaktiv elementlərin kalium - 40, rubidium - 87 və başlanğıcını uran - 238 və torium - 232 izotoplarından götürmüş olan iki radioaktiv ailənin üzvlərinin olmasını göstərir. Qeyd edək ki, böyük yaşama müddətinə malik olan uran - 238 və torium - 232 radioaktiv elementləri Yer yaranması anından onun tərkibinə daxil olmuşlar. Bu elementlərin yarımparçalanma periodları milyon illərlə hesablanır. Parçalanma nəticəsində təkcə bu elementlərin özləri deyil, həm də onların parçalanma məhsulları radioaktiv şüalar yaradır. Böyük miqdarda uran

filizləri Avstralyada, Rusiyada, Çexiyada, Slovakiyada, Konqoda, Cənubi Afrikada və ABŞ - da tapılmışdır.

Yer mənşəli təbii ionlaşdırıcı şüalanma mənbələrini xarici və daxili növlərə ayırırlar. Xarici şüalanma mənbələrinə misal olaraq, müxtəlif dağ süxurlarında, suda, torpaqda, havada, tikinti materiallarında və s. olan radionuklidləri göstərmək olar. Bu növ şüalanma insan orqanizmi üçün xarici radiasiya təsiri yaradır. İnsan orqanizminə kənardan qida məhsulları və udulan hava vasitəsilə daxil olan radionuklidlər orqanizmin daxili şüalanmasını yaradır ki, bunlar da ikinci növə aid edilir.

Bütün eyni şərtlər daxilində, o cümlədən də eyni miqdarda radionuklidlər misalında, aşağıda qeyd olunan səbəblərə görə daxili şüalanma xarici şüalanmaya nisbətən insan orqanizmi üçün daha qorxulu olur:

- 1) Daxili orqanların dəri örtüyü ilə mühafizə olunmaması;
- 2) Şüalanma müddətinin adətən kifayət qədər çox olması (bu müddət radionuklidlərin orqanizmdə qalma müddətlərinə bərabər olur);
- 3) şüalanma mənbəyi ilə şüalanan toxuma arasında məsafənin çox kiçik olması hesabına udulma dozasının kəskin böyük olması.

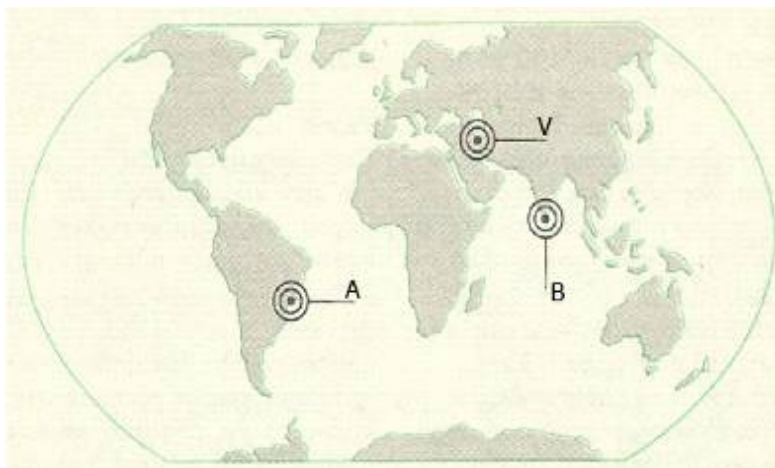
Təbii radionuklidlərin parçalanması α -, β -zərrəciklər və γ - kvantlar əmələ gətirir. α -, β - zərrəciklərin qaçış yolunun həddən artıq kiçik olması ona səbəb olur ki, bu zərrəciklər bir neçə millimetr qalınlığı olan bioloji toxumalarda tamamilə udulurlar. Buna görə də Yer in üst qatında, suda və havada olan radionuklid şüalanmasının xarici təsirini qiymətləndirərkən, adətən, yüksək nüfuzetmə qabiliyyətinə malik γ - şüalar nəzərdən keçirildiyi halda, daxili şüalanma üçün ionlaşdırma qabiliyyəti, β - və γ - şüalanmalarla müqayisədə, kifayət qədər yüksək olan α -zərrəciklər daha əhəmiyyətli rol oynayırlar.

Qeyd edək ki, torpağın radioaktivliyinin öyrənilməsinin müasir metodları yüksək nüfuzetmə qabiliyyətli γ - şüaların qeydə alınmasına əsaslanmışdır.

Buna görə də onların köməyi ilə Yer qabığına olan yalnız uran - radium və torium sırasının γ - radioaktiv izotoplarını və kaliumu aşkar etmək olar. Müəyyən edilmişdir ki, dağ süxurlarından əmələ gələn torpaq orta hesabla (1-3)% kalium, (1-2) % uran və (5-10)·10⁻⁴ % torium izotoplarına malik olur.

Aydındır ki, Yer kürəsinin ayrı - ayrı ərazilərində radiasiya şüalanmasının səviyyəsi, radionuklidlərin həmin yerdə konsentrasiyasından asılı olaraq, eyni olmur. Fransa, Almaniya, İtaliya, Yaponiya və ABŞ-da aparılmış tədqiqatlardan məlum olur ki, bu ölkələrin əhalisinin təxminən 95 % - i şüalanma dozası gücünün il ərzində 0.3 – 0.6 mZv olduğu ərazilərdə yaşayır. Əhalinin təqribən 3 % - i kifayət qədər yüksək (~ 1 mZv/il), 1.5.% - i isə bundan da yüksək (1.4 mZv/il) şüalanma dozası qəbul edir. Radiasiya səviyyəsi ifrat yüksək olan ərazilər də mövcuddur ki, bunlar da, şərti olaraq, şəkil 5.9 - də göstərilmişdir (*Радиация. Дозы, эффекты, риск, 1990*).

Təbii radionuklidlər, bir qayda olaraq, daha çox miqdarda mərmər və qranit tərkibli dağ süxurlarında toplanır. Əhəngdaşı və qumlu süxurlar isə, adətən, kiçik radioaktivliyə malik olur. Bəzi şistlər (lay-lay quruluşlu süxurlar), əsasən də üzvü maddələrə malik olanlar, yüksək radioaktivliklə xarakterizə oluna bilirlər.



Şəkil 5.9. Yer səthinin yüksək radiasiya ilə xarakterizə olunan əraziləri (A – Posus-di-Kaldas və Quarapari, B – Kerala və Tamilnad, V – Ramser).

Qeyd edək ki, əhəngdaşı süxurları ilə zəngin ərazilərdə Yer səthindən $1m$ yüksəklikdə şüalanma dozası gücünün orta qiyməti $\sim 0.2 mZv/il$ həddində olur. Bu ərazilər təbii radiasiya fonu yüksək olan ərazilər hesab olunur. Həmin ərazilərdə əhalinin aldığı real şüalanma dozasını müəyyən etmək üçün dəqiq, çoxlu sayda ölçmə işlərini həyata keçirmək lazımdır.

Yer kürəsində təbii radiasiya fonu yüksək olan ərazilərin kifayət qədər olmasına baxmayaraq, yüksək radiasiya səviyyəsinə malik məskunlaşma yerlərinin sayı cəmi 5 dənədir. Torpaq və dağ süxurlarının hesabına yüksək şüalanma ilə xarakterizə olunan bu yerlər Braziliyada, Fransada, Hindistanda, Misirdə və Niue adasında yerləşir.

Braziliyanın San – Paulu şəhərindən şimala tərəf $200 km$ -lik məsafədə (Posus-di Kaldas şəhərinin yaxınlığında) çox da böyük olmayan yüksəklik vardır. Burada radiasiya fonunun orta səviyyədən 800 dəfə yüksək olması ($250 mZv/il$) müəyyən edilmişdir. Haməlum səbəbdən bu ərazidə məskunlaşma olmamışdır, lakin bu yüksəklikdən $600 km$ şərqə tərəf yerləşən dəniz istirahət zonasında həmin rəqəmdən az fərqlənən radiasiya fonu qeydə alınmışdır. Adı çəkilən istirahət zonası 12000 nəfərlik əhalisi olan kiçik Quarapari şəhərində yerləşir. Bu şəhərdə hər yay təxminən 30000 nəfər qonaq istirahət edir. Torpaq və qaya süxurlarının yaratdığı yüksək şüalanma şəhərin çimərliklərinin ayrı - ayrı yerlərində radiasiya səviyyəsinin ildə $175 mZv$ -ə bərabər olmasına səbəb olmuşdur. Şəhərin küçələrində radiasiya səviyyəsinin, yuxarıda qeyd edilən rəqəmlərlə müqayisədə, xeyli kiçik ($8 - 15 mZv/il$) olmasına baxmayaraq, bunun da orta səviyyədən əhəmiyyətli dərəcədə yüksək olması aydın görünür.

Quarapari şəhərindən $50 km$ cənubda yerləşən balıqçıların yaşadığı Meaipe kəndində də oxşar vəziyyət müşahidə olunur. Aydın olmuşdur ki, hər iki yaşayış məntəqəsi toriumla zəngin qumlu ərazidə yerləşir. Fransa əhalisinin də təxminən $1/6$

hissəsi ($\sim 7 \text{ mln}$ nəfər) əsasən qranit tərkibli qaya süxurlarının yaratdığı yüksək radiasiya fonu (şüalanma dozasının gücü $1.8 - 3.5 \text{ mZv/il}$) şəraitində yaşayır.

Yer kürəsinin digər hissəsində yerləşən Hindistanın cənub - qərbində, Kerala və Mədrəs ştatlarında uzunluğu 200 km , eni isə bir neçə yüz metr olan nazik sahiyani ərazidə 100000 -ə qədər əhali yaşayır. Yüksək torium tərkibli qumlu torpaqların hesabına ərazidə yaşayan əhali orta hesabla 13 mZv/il qədər şüalanma dozası qəbul edirlər. Ərazinin 8513 nəfər sakini üzərində aparılan tədqiqatlar göstərdi ki, il ərzində hər bir nəfər orta hesabla 3.8 mZv şüalanma dozası qəbul edir. Bunlardan 500 nəfərdən çoxuna ildə 8.7 mZv -dən çox doza düşür. 60 nəfər isə 17 mZv illik doza qəbul edir ki, bu da yer mənşəli radioaktiv mənbələrin yaratdığı xarici şüalanmanın illik orta qiymətindən 50 dəfə çoxdur (*Радиация. Дозы, эффекты, риск, 1990*).

Qeyd edək ki, Braziliya və Hindistanda olan bu ərazilər planetimizin hərtərəfli tədqiq edilmiş "qaynar nöqtələridir".

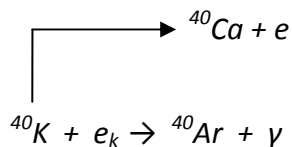
Sakit okeanın Niue adasının bir neçə min əhalisinin payına düşən şüalanma dozası isə 10 mZv/il qədərdir. Misirin Nil çayının şimal deltası rayonlarında əhalinin sıx məskunlaşmış bir neçə kəndində $3 - 4 \text{ mZv/il}$ həddində şüalanma dozası qeydə alınmışdır. Fransada, Nigeruyada, Madaqasqarda da yüksək radiasiya səviyyəsinə malik ərazilər mövcuddur.

Az öyrənilmiş, lakin göstərilən rəqəmlərdən də yüksək şüalanma dozası yaradan ərazilər mövcuddur. Məsələn, İranda kiçik Ramser şəhərinin ərazisində radiumla zəngin yerlər vardır ki, həmin yerlərdə radiasiya səviyyəsinin ildə 400 mZv təşkil edir.

Müəyyən edilmişdir ki, torpaq və suyun əsas təbii radiasiya mənbəyi qranit və bazalt kimi dağ süxurlarıdır. Bu zaman daha çox gilli və qaratorpaq tərkibli nümunələr yüksək radioaktivlik göstərir. Meşə və çimli kiltorpaqların isə radioaktivliyi kiçik olur.

Tədqiqatların nəticələri göstərir ki, həmin ərazilərdə radioaktiv elementlər "torpaq – bitki – heyvan – insan" qida zənciri üzrə (əsasən də, süd, ət, su, bitki qidaları ilə) insan orqanizminə daxil olaraq, müxtəlif orqan və toxumalarda toplanır ki, nəticədə də onların miqdarı ilkin miqdarla müqayisədə $10-100$ dəfə arta bilər (*Дубров А.П., 1995*).

a) Biosferdə ^{40}K izotopunun miqdarı. Təbii radiasiya fonunun formalaşmasında kaliumun radioaktiv izotopu olan ^{40}K əsas yerlərdən birini tutur. Məlum olduğu kimi, təbiətdə geniş yayılmış kalium elementi çoxlu sayda izotoplara malikdir ki, onlardan yalnız ikisi (K^{39} , K^{41}) stabil, qalanları isə radioaktivdirlər. Əsasən stabil ^{39}K izotopundan ibarət olan bu elementin radioaktiv ^{40}K izotopu onun təqribən 0.0119% -ni təşkil edir. Bu izotop $1.3 \cdot 10^9$ il yarımparçalanma perioduna malikdir və onun radioaktiv parçalanması aşağıda göstərilmiş iki yolla baş verir (*Кузин А.М., 1991*).



Sxemdən göründüyü kimi, parçalanmanın birinci yolu β - şüalanma ilə müşayiət olunur. β - parçalanma ^{40}K izotopunun ümumi parçalanmasının 88% - ni təşkil edir və bu parçalanma nəticəsində stabil kalsium elementi və 1.32 MeV enerjili elektronlar seli (β -şüalanma) yaranır. Parçalanmanın 12% - i isə elektron zəbti (K - zəbti) hesabına yaranır və bu parçalanma arqon elementinin və 1.46 MeV enerjili γ - kvantlar selinin yaranması ilə nəticələnir.

Cədvəl 5.3. -də ^{40}K izotopunun müxtəlif nümunələrdə miqdarına dair nəticələr göstərilmişdir.

Cədvəl 5.3.

^{40}K izotopunun müxtəlif nümunələrdə miqdarına dair göstəricilər

Mənbə	^{40}K -in konsentrasiyası ($\text{Bk}\cdot\text{kq}^{-1}$)	Mənbə	^{40}K -in konsentrasiyası ($\text{Bk}\cdot\text{kq}^{-1}$)
<i>Dəniz suyu</i>	12 – 15	<i>Qumdaşı</i>	300 – 400
<i>Torpaq</i>	37 – 1100	<i>Apatitlər</i>	44 – 170
<i>Əhəngdaşı</i>	30 – 40	<i>Fosfatit</i>	230
<i>Qranit</i>	925 – 1200	<i>Kaliumlu-fosfat kübrəsi</i>	5900
<i>Bazalt</i>	290 – 400	<i>Kaliumlu-azot-fosfor kübrəsi</i>	1200 - 5900
<i>Vulkanik süxur</i>	814 – 925		
<i>Gilli şist</i>	85 - 850		

Çoxlu sayda mineral və torpaq süxurlarının tərkibinə daxil olan ^{40}K izotopu biotun β - və γ - şüalanmaya məruz qalmasına səbəb olur. Qeyd edək ki, biotun əsas xarici şüalanma mənbəyi rolunu oynayan ^{40}K izotopu onunla bilavasitə təmasda olan torpağın mikroflorası, bitkilərin kök sistemləri, torpaq faunası üçün daha böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Orqanizmin, onun ayrı - ayrı orqan və toxumalarının daxili şüalanması baxımından da ^{40}K izotopunun əhəmiyyəti böyükdür.

Bildiyimiz kimi, kalium, əvəzolunmaz element olaraq, bir sıra metabolik proseslərdə iştirak edir və ətraf mühitin ayrı - ayrı komponentlərindən çox fəal şəkildə müxtəlif orqanizmlərə daxil ola bilir. Müəyyən edilmişdir ki, orqanizmin müxtəlif strukturlarında kaliumun miqdarı, xüsusi sistemlərlə tənzimlənməklə, daimi homeostatik nəzarət altında olur. Dediklərimiz kaliumun bütün izotoplarına, o cümlədən də ^{40}K izotopuna aiddir.

^{40}K izotopu torpaqdan kök sistemi vasitəsi ilə bitkilərə, onlardan isə heyvan, son nəticədə isə qida məhsulları vasitəsi ilə insan orqanizminə daxil ola bilir.

Cədvəl 5.4. -də bitkilərdə ^{40}K izotopunun miqdarına dair göstəricilər öz əksini tapmışdır.

Qeyd edək ki, ^{40}K izotopu ilə daha çox zəngin olan bitki lobya, kartof, qoz və quşüzümüdür. Bu bitkilərdə ^{40}K izotopunun miqdarı uyğun olaraq, 229 Bk/kq ,

Cədvəl 5.4.

Bəzi bitkilərdə ^{40}K -in miqdarına dair göstəricilər

Bitkinin növü	Təzə toxumada ^{40}K -in miqdarı (Bk/kq)	Bitkinin növü	Təzə toxumada ^{40}K -in miqdarı (Bk/kq)
<i>Dənli bitkilər</i>	18.5 – 159	<i>Təzə meyvə (biol. döl)</i>	7.4 – 355
<i>Paxlalı bitkilər</i>	177 – 299	<i>Göbələklər</i>	277
<i>Təzə tərəvəz</i>	40 - 174		

174 Bk/kq, 210 Bk/kq və 355 Bk/kq - dır.

^{40}K izotopu ya birbaşa bitki mənşəli qidalarla, ya da dolaylı yolla heyvan orqanizmindən insan orqanizminə daxil ola bilər.

Cədvəl 5.5. - də isə ^{40}K izotopunun insan orqanizminin ayrı-ayrı toxuma və orqanları üzrə paylanması təsvir edilmişdir.

Cədvəlin təhlilindən aydın olur ki, dalaqda, eritrositlərdə və qırmızı sümük iliyində bu izotopun miqdarı daha yüksək olur.

Cədvəl 5.5.

 ^{40}K izotopunun insan orqanizminin müxtəlif toxumaları üzrə paylanması

Tədqiqat obyektı	Toxumalarda K elementinin orta konsentrasiyası (q/kq)	Toxumalarda ^{40}K izotopunun aktivlik konsentrasiyası (Bk/kq)	Tədqiqat obyektı	Toxumalarda K elementinin orta konsentrasiyası (q/kq)	Toxumalarda ^{40}K izotopunun aktivlik konsentrasiyası (Bk/kq)
<i>Timus</i>	0.6	18	<i>Ürək</i>	2.1	63
<i>Dəri</i>	0.8	24	<i>Qaraciyər</i>	2.5	75
<i>Qalxanvarı vəzi</i>	1.2	36	<i>Mərkəzi sinir sistemi</i>	2.9	87
<i>Bağırsaqlar</i>	1.2	36	<i>Baş beyini</i>	3.0	90
<i>Nazik bağıracaq</i>	1.3	39	<i>Skelet əzələsi</i>	3.0	90
<i>Qan</i>	1.6	48	<i>Dalaq</i>	3.1	93
<i>Ağ ciyər</i>	1.9	57	<i>Eritrositlər</i>	3.4	102
<i>Yumurtalıq</i>	2.0	60	<i>Qırmızı ilik</i>	4.0	121

b) Biosferdə uranın və onun parçalanma məhsullarının miqdarı. Uran torpaq örtüyünün süxurlarında geniş yayılmış elementdir. Təbii uranın ^{238}U , ^{235}U və ^{234}U kimi üç müxtəlif izotopu vardır. Bu izotopların yarımparçalanma periodları uyğun olaraq, $4.5 \cdot 10^9$ il, $7.13 \cdot 10^8$ il və $2.48 \cdot 10^5$ il - dir. Təbii uranın əsas kütləsini

(99.282 % - ni) ^{238}U izotopu təşkil edir. ^{235}U izotopu ümumi kütlənin 0.712 % - ni, ^{234}U izotopu isə 0.006 % - ni təşkil edir.

Vinoqradovun (Виноградов А.П., 1963) aldığı nəticələrə əsasən ümumi kütləsi $\sim 3 \cdot 10^{22}$ kq olan yer qabığının $1 \cdot 10^{17}$ kq -ı uranın payına düşür. AEBA -nın hesablamalarına görə isə, praktiki istismarı mümkün olan yataqlarda uranın ümumi miqdarı $\sim 5 \cdot 10^9$ kq (5040 min ton) qədərdir ki, bunun da 1700 min ton -u ABŞ-ın, 870 min ton -u Kanadanın, 480 min ton -u Cənubi Afrika Respublikasının, 350 min ton -u isə Avstraliyanın payına düşür.

Cədvəl 5.6. -də istismar olunan yataqlarda uranın miqdarına dair göstəricilər öz əksini tapmışdır.

Qeyd edək ki, müxtəlif süxurlarda uranın miqdarı geniş intervalda dəyişir. Qranitdə onun miqdarı $4.75 \cdot 10^{-4}$ %, ortitdə 0.05 %, monasitdə 0.1 %, samarskitdə 10 %, uraninitdə isə 70 % təşkil edir.

ABŞ geniş uran əyalətlərinə malikdir. Bunlara misal olaraq, Yuta, Arizona, Nyu-Meksiko Ştatlarını əhatə edən 400 min km^2 -lik Kolorado layını, Nevada Ştatında və Vaşinqton Ştatının Şimal-Şərqində yerləşən Vayominqa və Dakotı uran yataqlarını göstərmək olar. Argentinanın qərbində və Braziliyanın dağ silsiləsində də uran yataqları mövcuddur. Uran yataqları Afrikanın cənubunda yerləşən Konqo, Zambiya, Mozambik və Cənubi Afrika Respublikasında da geniş əraziləri əhatə edir. Adı çəkilən ərazi Vitvatersqrand filiz sahəsi adlanır.

Cədvəl 5.6.

İstismar olunan yataqlarda uranın miqdarına dair göstəricilər

Ölkə	Istismar olunan ehtiyat, min ton	Ölkə	Istismar olunan ehtiyat, min ton
ABŞ	530 (180)*	Əlcəzair	15
Avstraliya	290 (10)*	İspaniya	10
Cənubi Afrika Resp.	250 (140)*	Yaponiya	10
Kanada	220 (20)*	Portuqaliya	10
Nigeriya	160	Pakistan	10
Namibiya	120	Meksika	10
Braziliya	75	Somali	10 (10)*
Fransa	40	Avstriya	2
Qabon	40	Türkiyə	2
Hindistan	30	Zair	1
Argentina	25	İsveç	1 (300)*
Mərkəzi Afrika Resp.	20		

* Potensial rentabelli ehtiyat

Avropada geniş uran əraziləri Fransada, Sloveniyada yerləşir. Rusiyada bu cür ərazilər Pamir və Ural dağlarında yerləşir (*Действие ион. рад. на биогеоценоз, 1988*).

Uran ərazilərində uran radioizotoplarının, müntəzəm olaraq, torpaqda, içməli suda, su hövzələrində və yeyinti məhsullarında artması müşahidə olunur ki, bu da onların heyvan və insan orqanizminə daxil olmasını sürətləndirir. Müəyyən edilmişdir ki, uranın torpaqda və içməli suda miqdarı çox olduqda, onun yeyinti məhsullarında və insan orqanizmində miqdarı da çox olur (*Wrenn M.E. et. al. 1985*). Bunu cədvəl 5.7. - də təsvir olunmuş rəqəmlərdən də aydın görmək olur. Burada A və B məntəqələri eyni iqtisadi, demoqrafik və sanitari göstəricilərə, lakin müxtəlif uran ehtiyatlarına malik ərazilərdir. Cədvəldən görüldüyü kimi, suda uranın bir tərtib çoxalması onun biotda da bir tərtib artmasına səbəb olur.

Cədvəl 5.7.

Uranın içməli suda və tərəvəzdə miqdarı ilə insan orqanizmində toplanması arasında koppeliasiya

Göstəricilər	A məntəqəsi	B məntəqəsi
<i>Uranın miqdarı:</i>		
<i>İçməli suda, q/l</i>	$2 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-6}$
<i>tərəvəzdə, q/q</i>	$(2-4) \cdot 10^{-9}$	$(1.9-4.5) \cdot 10^{-10}$
<i>süddə, q/l</i>	$3.4 \cdot 10^{-10}$	$5.6 \cdot 10^{-12}$
<i>İnsan orqanizminə daxil olması, q/sutka</i>	$3.045 \cdot 10^{-4}$	$1.26 \cdot 10^{-5}$
<i>İfrazatla çıxma, q/sutka</i>	$4.3 \cdot 10^{-5}$	$1.25 \cdot 10^{-6}$

Uran, yataqlardan başqa, az miqdarda, kiçik dispers şəklində Yer qabığının, demək olar ki, bütün süxurlarında, ərazi torpaqlarında, yeraltı sulara, çay, dəniz və okeanlarda da olur.

Əsas süxurlarda uranın miqdarının müxtəlif olması və həm külək şəraitinin, həm də süxurların yuyulma və parçalanma sürətlərinin eyni olmaması uranın müxtəlif növ torpaqlarda miqdarının da müxtəlif olmasına səbəb olur (*Виноградов А.П., 1957; Гродзинский Д.М., 1965*).

Cədvəl 5.8. -də təsvir olunmuş rəqəmlər dediklərimizi tamamilə təsdiq edir.

Rusiyanın bəzi torpaqlarında uranın miqdarı 50 Bk/kq həddinə çatır. ABŞ - ın torpaqlarında bu göstərici $4.4 - 140 \text{ Bk/kq}$ intervalında dəyişir (*Myrick T.E., et.al., 1983*).

Çay və göllərdə də uranın miqdarı, onları əhatə edən süxurların tərkibindən asılı olaraq, müxtəlif olur.

Cədvəl 5.9. -də MDB dövlətlərinin bəzi çay və göllərində uranın miqdarını göstərən rəqəmlər öz əksini tapmışdır (*Ковальский В.В. и др., 1968; Батурын Г.Н., 1975*).

Cədvəl 5.8.

Müxtəlif növ torpaqlarda uranın miqdarı

Torpağın növü	Uranın orta aktivliyi, Bk/kq	Torpağın növü	Uranın orta aktivliyi, Bk/kq
<i>Boz torpaq</i>	31	<i>Boz meşə</i>	17
<i>Boz-qəhvəyi</i>	27	<i>Çim-kültorpaq</i>	15
<i>Şabalıdı</i>	26	<i>Kültorpaq</i>	9
<i>Qaratorpaq</i>	21	<i>Torflu torpaq</i>	6

Cədvəl 5.9.

Bəzi çay və göllərdə uranın miqdarı

Çaylar	Uranın miqdarı, 10^{-7} q/l	Çaylar	Uranın miqdarı, 10^{-7} q/l
<i>Lena</i>	2	<i>Volqa</i>	14 – 15
<i>Amur</i>	2	<i>Ural</i>	31
<i>Şimali Dvina</i>	3.6	<i>Çu</i>	58 – 71
<i>Moskva</i>	5.1	Göllər	
<i>Oka</i>	9	<i>Baykal</i>	5 – 8.6
<i>Neva</i>	11	<i>Ladoqa</i>	10
<i>Kama</i>	13	<i>Göyçə</i>	20

Dəniz və okeanlarda uranın miqdarı (cədvəl 5.10.), numunələrin götürülmə yerindən və götürülmə dərinliyindən asılı olaraq, 1.3 - dən $600 \cdot 10^{-7}$ q/l həddinə qədər dəyişə bilər (Батурич Г.Н., 1975).

Cədvəl 5.10.

Bəzi dəniz və okeanlarda uranın miqdarı

Dənizlər	Uranın miqdarı, 10^{-7} q/l	Okeanlar	Uranın miqdarı, 10^{-7} q/l
<i>Baltik</i>	4.4 – 15	<i>Atlantik</i>	3.3 – 36
<i>Ağ</i>	14 – 18	<i>Hind</i>	14 – 37
<i>Aralıq</i>	7 – 22	<i>Sakit</i>	15 – 47
<i>Qara</i>	13 – 51		
<i>Xəzər</i>	30 – 100		
<i>Aral</i>	300 - 600		

Uran torpaqlardan, çaylardan, göllərdən, dəniz və okeanlardan mikroorqanizmlərə, bitki və heyvanat aləminə daxil ola bilir. Bəzən, ətraf mühitdə az miqdarda olmasına baxmayaraq, biot və ya digər komponentlərdə uranın toplanması müşahidə olunur. Letunova və Kovalskinin (*Летунова С.В., Ковальский В.В., 1978*) aldığı nəticələrdən aydın olur ki, mikroorqanizmlərin əksəriyyəti ətraf mühitdən uranı toplamaq qabiliyyətinə malikdirlər. Bu zaman ayrı - ayrı mikroorqanizmlər üçün toplanma əmsalları 2 - dən 35000 - ə qədər olan böyük intervalda dəyişə bilər (35000 - ə bərabər toplanma əmsalı *Bacillus meqaterium* - a aiddir).

Bir çox tədqiqatçıların hesablamalarına görə planktonlar da uranı yüksək hərisliklə toplaya bilirlər. Uranın planktonlar üçün toplanma əmsalı 3 - dən 1600 - ə qədər böyük intervalda dəyişir. Bu toplanma əmsalları, planktonun növündən başqa, həm də mühitdə uranın miqdarından asılı olur (*Кузин А.М., 1991*).

Yerüstü bitkilərə uran, çox da böyük olmayan miqdarda, əsasən torpaqdan daxil olur. Yandırılmış bitki küllərindən götürülmüş nümunələrin radiospektrometrik analizi uranın konsentrasiyasının $0.0071-190 \cdot 10^{-4} \%$ həddində dəyişdiyini göstərir (*Ковальский В.В. и др., 1968*). Bəzi bitkilər, torpaqda uranın miqdarı çox olan hallarda, onu aktiv toplaya bilirlər. Bu bitkilərdən uzun illərdir ki, uranın indikatoru kimi istifadə edilir. Müəyyən edilmişdir ki, ən etibarlı indikator rolunu *Astragalus patterson* və *A. prensi* oynayır. Bu bitkilərin köməyi ilə bir çox yerlərdə uran yataqları aşkar edilmişdir. Buna misal olaraq, Yut ştatının Poyzon-Kanon əyalətlərində yerləşən Kolorado yaylasını göstərmək olar (*Massingill G.L., 1979*).

Yosunlar da uranın göl, dəniz və okeanlardan intensiv toplanmasında fəal rol oynayırlar. Birlüceyrəli yosunlar üçün uranın toplanma əmsallarının 800 - 3900 -ə qədər olması müəyyən edilmişdir (*Sakaguchi T., et.al., 1978*). Qatırquyruğu bitkisinə bənzər *Chara* tipli yaşıl yosunlar uran üçün 100 - 1400 -ə bərabər toplanma əmsalları nümayiş etdirirlər, yəni onlar da uranı intensiv toplaya bilirlər.

İndi də uran-238 izotopunun əsas parçalanma məhsullarından olan və təbii radiasiya fonunun yaranmasında verdiyi paya görə daha çox maraq doğuran radium-226, qurğuşun-210 və polonium-210 radionuklidləri üzərində ətraflı dayanaq.

Radium-226. 1620 il -ə bərabər yarımparçalanma perioduna malik ^{226}Ra izotopu 4.76 MeV enerjili α - və 0.187 MeV enerjili γ - şüalanma mənbəyidir. Uranın toplandığı yerlərdə onu müşayiət edən bu izotop kiçik dispers halında yer suxurlarında, torpaqlarda, müxtəlif mənşəli sulara paylanmışdır.

^{226}Ra izotopunun ətraf mühitin ayrı - ayrı komponentlərində miqdarına dair məlumatlar cədvəl 5.11. -də öz əksini tapmışdır. Qeyd edək ki, bu göstəricilər ARTEK - in 1962-ci ilə dair məlumatları əsasında müəyyənləşdirilmişdir.

Dəniz və okeanların hidrobiontları radiumu müxtəlif intensivliklə toplaya bilirlər. Belə ki, midiyalar üçün toplanma əmsalı 69 olduğu halda, malyuskalar üçün bu rəqəm 210 - a bərabərdir.

Şirin su hövzələrində radiumun su gülü – *Lemna* tərəfindən toplanmasının tədqiqi göstərmişdir ki, şəraitdən asılı olaraq, bu izotop üçün toplanma əmsalı 14 - 477 intervalında dəyişə bilər (*Поликарпов Г.Г., 1964*).

^{226}Ra izotopunun ətraf mühit komponentlərində miqdarına dair göstəricilər

Ətraf mühit komponenti	^{226}Ra -nın miqdarı	Ətraf mühit komponenti	^{226}Ra -nın miqdarı
Dağ süxurları (Bk/kq)		Tikinti materialları (Bk/kq)	
<i>Qranit</i>	96 – 114	<i>Kərpic</i>	23 – 152
<i>Bazalt</i>	18.5 – 40.7	<i>Əhəngdaşı kərpici</i>	6 – 25
<i>Qumdaşı</i>	11.1 – 25.9	<i>Beton</i>	11 – 80
<i>Əhəngdaşı</i>	14.8 – 25.9	<i>Sement</i>	9 – 168
<i>Şist</i>	14.8	<i>Gilli şist əsaslı qaz betonu</i>	320 – 2620
<i>Alüminium şisti</i>	2220		
Su hövzələri (Bk/l)		<i>Ağac</i>	0.3 – 0.5
<i>Çaylar</i>	$1.85 \cdot 10^{-4} - 2.96 \cdot 10^{-2}$		
<i>Mineral su mənbələri</i>	$2.59 \cdot 10^{-3} - 5.1$	<i>Torpaqda</i>	3.3 – 29.6
<i>Okeanlar</i>	$7.4 \cdot 10^{-4} - 1.1 \cdot 10^{-2}$		
<i>Müxtəlif şəhərlərdə su kəmərlərindəki sular</i>	$3.7 \cdot 10^{-3} - 38.8 \cdot 10^{-2}$		

Radium torpaq və sudan asanlıqla bitkilərə keçə bilir. Müəyyən edilmişdir ki, radiumun bitkilərdə (onların külündə) miqdarı $2.1 \cdot 10^{-2} \text{ Bk}/\text{kq}$ -dan $2.5 \text{ Bk}/\text{kq}$ -a qədər ola bilər. Konkret olaraq, bu izotop qaragilədə $26 \cdot 10^{-13} \text{ q}/\text{q}$, mərsində $21 \cdot 10^{-13} \text{ q}/\text{q}$, tozağacının yarpaqlarında və şam ağacının iynəyarpaqlarında nisbətən az ($14.8 - 12.5 \cdot 10^{-13} \text{ q}/\text{q}$), şibyə, süpürgə kolu və ardic kolunda isə daha az ($9.7 \cdot 10^{-13} \text{ q}/\text{q}$) miqdarda toplanır (Хотько Э. И. и др., 1983).

Qida zənciri üzrə radium balıqların orqanizminə $2.5 \cdot 10^{-2} - 23 \cdot 10^{-2} \text{ Bk}/\text{kq}$, heyvanların ətinə isə $1.6 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-2} \text{ Bk}/\text{kq}$ miqdarında daxil ola bilər.

Aydındır ki, radium bitki və heyvan mənşəli qida məhsulları ilə insan orqanizminə də yol tapmalıdır. Qələvi - torpaq elementi olaraq, radium, kalsium kimi, əsasən skelet sümüklərində toplanır. Bu elementin ion halında yumşaq toxumalarda da toplanması müəyyən edilmişdir.

Radiumun insan orqanizminə daxil olması və orqanizmin ayrı-ayrı orqanlarında toplanmasına dair nəticələr cədvəl 5.12. -də öz əksini tapmışdır.

Qeyd edək ki, radiumun parçalanması nəticəsində radioaktiv radon qazı əmələ gəlir ki (bu haqda bir az sonra), onun da parçalanması, öz növbəsində, az yaşama müddətinə malik radioaktiv elementlər zəncirini əmələ gətirir. Əsasən atmosferdə baş verən bu parçalanma nəticəsində qurğuşun -210 (yarımparçalanma periodu 22.3 il) və polonium - 210 (yarımparçalanma periodu 138.4 gün) kimi

^{226}Ra izotopunun qida ilə daxil olma nəticəsində insan orqanizmində
toplanmasına dair göstəricilər

	Miqdarı
<i>Normal radiasiya fonuna malik rayonlarda</i>	$1.48 \cdot 10^{-2} - 6.3 \cdot 10^{-2} \text{ Bk/sutka}$
<i>Yüksək radiasiya fonuna malik rayonlarda</i>	$12.2 \cdot 10^{-2} \text{ Bk/sut.}$
<i>Sümlüklərdə konsentrasiyası</i>	$7.4 \cdot 10^{-2} - 2.8 \text{ Bk/kq}$
<i>Yumşaq toxumalarda konsentrasiyası</i>	$2.7 \cdot 10^{-3} - 1 \text{ Bk/kq}$
<i>Bədəndə ümumi miqdarı</i>	$5.5 \cdot 10^{-1} - 51.8 \text{ Bk}$

radionuklidlər əmələ gəlir. Bu izotopların biosferdə özünəməxsus yayılması bioloji təsir baxımından xüsusi əhəmiyyət kəsb etdiyindən onların üzərində ətraflı dayanaq.

Qurğuşun - ^{210}Pb) və Polonium - ^{210}Po). α - şüalanma mənbəyi olan bu radionuklidlərin insan orqanizminə təsiri, əsasən, onların orqanizmə daxil olmasından sonra baş verir. Radonun atmosferdə parçalanması nəticəsində yaranan bu radionuklidlər atmosferin özündə aerosollar şəklində olur. Qitələr üzərində (30° şimal en dairəsində) onların konsentrasiyası $1.1 \cdot 10^{-3} \text{ Bk/m}^3$, okeanlar üzərində isə (60° cənub en dairəsində) $0.07 \cdot 10^{-3} \text{ Bk/m}^3$ həddində olur.

^{210}Pb və ^{210}Po izotopları yağış suları vasitəsilə torpağa və bitkilərin yarpaqlarına çökür (yağış suyunda ^{210}Pb - un konsentrasiyası $0.7 \cdot 10^{-2} - 29 \cdot 10^{-2} \text{ Bk/l}$ həddində olur). Beləliklə də, onların, ya bilavasitə yarpaqlarla, ya da torpaqdan kök sistemləri vasitəsilə bitkilərə keçməsi baş verir. Qeyd edək ki, torpaqda ^{210}Pb izotopunun miqdarı $4.2 - 38.5 \text{ Bk/kq}$ həddində olduğu halda, ali bitkilərdə bu rəqəm 1 kq quru maddə üçün $37 \cdot 10^{-2} - 37 \cdot 10^{-1} \text{ Bk}$ qədər olur. Şibyə bitkilərində isə bu rəqəm 50 dəfəyə qədər çox ola bilər (Гродзинский Д.М., 1965). Kanada, Finlandiya, Rusiya (Murmansk bölgəsində), ABŞ (Alyaska bölgəsində) kimi şimal ölkələrində bitən şibyələrdə ^{210}Pb və ^{210}Po radioizotoplarının miqdarı daha da çox olur. Adı çəkilən ərazilərdə stratosferi troposferdən ayıran substratosfer qatından (bu qat, həm də troponauza adlanır) ^{210}Pb və ^{210}Po izotoplarının daha çox çökməsi baş verir ki, bu da onların uzun yaşama müddətli şibyə yarpaqları tərəfindən intensiv udulması ilə nəticələnir. ARTEK -in 1978 -ci il nəticələrinə əsasən ^{210}Pb və ^{210}Po izotoplarının bu bitkilərdə konsentrasiyası 1 kq quru kütləyə görə $214 - 292 \text{ Bk}$ qədər olur. Bu səbəbdən də şibyə ilə qidalanan şimal marallarının bədənlərində çoxlu miqdarda ^{210}Pb və ^{210}Po izotopları toplanmış olur. Qeyd edək ki, bu ölkələrdən ixrac olunan maral ətində ^{210}Pb izotopunun miqdarı $22 \cdot 10^{-2} - 1.4 \text{ Bk/kq}$, ^{210}Po izotopunun miqdarı isə $2.96 - 13.3 \text{ Bk/kq}$ həddində olur.

Yosunların da dəniz suyundan ^{210}Po izotopunu toplama əmsalının çox böyük olması müəyyən edilmişdir. Məsələn, qırmızı yosunların *Porphyra umbilicalis* növü üçün bu göstərici 1000 - ə bərabərdir.

^{210}Po izotopunun yüksək konsentrasiyası bir çox digər hidrobiontlarda da müşahidə olunmuşdur. Məsələn, balıq və molyuskalarda onun miqdarının 0.7 – 20 Bk/kq həddində olması müəyyən edilmişdir.

İnsan orqanizminə bu radionuklidlər əsasən qidadan, bilavasitə havadan (nəfəsalma zamanı) və siqaret çəkənlər üçün isə həm də tüstüdən daxil olur.

^{210}Pb və ^{210}Po radioaktiv elementlərinin insan orqanizminə daxilolma yolları və onların ayrı - ayrı orqanlarda miqdarına dair nəticələr cədvəl 5.13 –də öz əksini tapmışdır.

Cədvəl 5.13.

^{210}Pb və ^{210}Po izotoplarının insan orqanizmində miqdarına dair göstəricilər

Göstərici	^{210}Pb	^{210}Po
Qidada normal miqdatı		
<i>Qida ilə daxil olma, 10^{-2} Bk/sut</i>	5.18 -22.9	4.8-17.0
<i>Siqaret çəkməyənlərdə miqdarı, Bk/kq:</i> <i>sümük toxumalarında</i> <i>yumşaq toxumalarda</i>	3 0.14-0.2	2.4 0.1-0.2
<i>Siqaret çəkənlərdə miqdarı, Bk/kq:</i> <i>sümük toxumalarında</i> <i>yumşaq toxumalarda</i>	4.81 0.22-0.33	3.7 0.18-0.33
Qidada yüksək miqdatı		
<i>Dəniz məhsulları vasitəsilə daxil olma, 10^{-2} Bk/sut</i>	62.9	-
<i>Karib və şimal marallarının əti vasitəsilə daxil olma, 10^{-2} Bk/sut</i>	13.3-162	222-1272
<i>Sümük toxumalarında miqdarı, Bk/kq</i>	9.25	7.4
<i>Yumşaq toxumalarda miqdarı, Bk/kq</i>	0.44-0.55	1.33-2.66

^{210}Pb izotopu, osteotrop element olaraq, əsasən sümük toxumalarında toplanır. ^{210}Po izotopu da, onu yaradan ^{210}Pb izotopu kimi, sümük toxumalarında müşahidə olunur. Yumşaq toxumalara ^{210}Po hava və qidadan daxil olur və onun miqdarı bu zaman daha çox qaraciyər və böyrəklərdə qeydə alınır.

c) Torium və onun parçalanma məhsulları. Urandan sonra təbiətdə ən geniş yayılmış təbii radionuklid torium - 232 izotopudur (^{232}Th). Bu radionuklid, adətən, özünün az yaşama müddətli çoxsaylı parçalanma məhsulları ilə tarazlıqda olur. $1.4 \cdot 10^{10}$ il -ə bərabər yarımparçalanma perioduna malik təmiz ^{232}Th izotopunun yalnız 3.95 – 4.05 MeV enerjili α – şüalanma yaratmasına baxmayaraq, onun yayıldığı ərazilərdə təbii radiasiya fonu həm də parçalanma məhsullarının yaratdığı

0.05 – 2.26 MeV enerjili β -şüalanmanın və 0.2 – 2.6 MeV enerjili γ - şüalanmanın hesabına yüksək olur.

Toriumun parçalanma məhsulları sırasına 5.8 il -ə bərabər yarımparçalanma perioduna malik, β -şüalanma yaradan mezotorium (radium - 238), 1.1 il -ə bərabər yarımparçalanma periodlu, həm α -, həm də β - şüalanma mənbəyi olan radiorium (torium - 228), α - və γ – şüalanma mənbəyi kimi 3.64 sutka yarımparçalanma periodlu torium X (radium - 224) izotoplarını aid etmək olar.

Torium da, uran kimi, böyük yataqlara malik olmaqla yanaşı, həm də kiçik dispers halında bütün torpaq süxurlarında və müxtəlif sulara mövcud ola bilər.

Braziliyada böyük torium ehtiyatlarına malik yataqlar vardır. Məsələn, Morro de Ferro əyalətində yüksək Poços-de-Kaldas düzənliyində onun miqdarı 20000 - 30000 t həddində qiymətləndirilir. Hesab edilir ki, bunun yalnız 100 ton -u uranın payına düşür (Campos M.J., 1986).

Dağ süxurlarında toriumun böyük miqdarda olması erroziya və yuyulma hesabına onun ətraf ərazilərin səth sularına daxil olmasına səbəb olur. Səth sularında toriumun miqdarı, adətən, 120 mBk/l həddində ola bilər. Adı çəkilən regionun əsas drenaj sistemində toriumun konsentrasiyasının 59 ± 37 mBk / l qədər olması müəyyən edilmişdir (bu ölkə üçün norma 14 ± 9 mBk / l - dir) (Penna – Franca E., Julia C.M., 1984).

Qeyd edək ki, Braziliyanın Atlantik okeanın sahili boyunca uzanan iki böyük Espiritu Santu və Rio-de-Janeyro ştatları monasit qumsallıqlarda yerləşir ki, bunun da $\sim 6-8$ % - ni torium təşkil edir. Hindistanın əksər sahilyanı ərazilərində də toriumla zəngin mineral yataqlara rast gəlmək olur. Məsələn, Kerala və Tamil - Hadu ştatlarının geniş yaşayış ərazilərində monasit çöküntülər mövcuddur ki, bunlarda da toriumun miqdarı 8.0 - 10.5 % həddinə çatır. Taylanda da 6 % -ə qədər torium tərkibli monasit qumlu ərazilər mövcuddur. Toriumun yüksək miqdarı Fransanın, Nigeriyanın, İrənin, İtaliyanın, Madaqaskarın bir çox dağlıq ərazilərində də müşahidə olunur. Çinin Quancdonq əyalətində toriumun səth süxurlarında və torpaqda konsentrasiyası onun üçün orta qiymətdən 6-7 dəfə yüksəkdir (Luxin Wei., 1981). Yüksək torium-222 tərkibli ərazi Norveçin dağlıq Fan əyalətində də aşkar edilmişdir. Bu ərazidə toriumun aktivliyi 4000 Bk/kq həddinə çatır (Erling S., 1984).

Torium və onun parçalanma məhsullarına kiçik dispers halında, həmçinin dağ süxurlarında və müxtəlif torpaqlarda rast gəlmək olur (cədvəl 5.14).

Turş vulkanik lavalarda toriumun miqdarı 550 Bk / kq qədər olur. ABŞ -in 33 ştatının torpaqlarında toriumun miqdarı 3.7 – 125.8 Bk / kq intervalında dəyişir.

Kiçik Qafqazın və Azərbaycanın torpaqları 4.8 Bk/kq qədər toriuma malikdir ki, bunun da ~ 1 % - i mübadiləolunabilən formanın payına düşür (Алиев Д. А. и др., 1984).

Qeyd edək ki, kifayət qədər az miqdarda toriuma malik ərazilər də mövcuddur. Məsələn, Dnestrovsko - Prutski çayarası ərazi torpaqlarında torium - 232 izotopunun miqdarının $(5.79 - 9.91) \cdot 10^{-4}$ % həddində olması müəyyən edilmişdir (Карабаджак И.Г. , 1976).

Cədvəl 5.14.

Dağ süxurlarında və torpaqda toriumun miqdarı (Bk/kq)

Suxurun növü	Radioaktivlik (Bk/kq)	Torpağın növü	Radioaktivlik (Bk/kq)
<i>Qranit</i>	81.4	<i>Boztorpaq</i>	48.1
<i>Diorit</i>	32.5	<i>Bozqonur</i>	40.7
<i>Bazalt</i>	11.1	<i>Şabalıdı</i>	37.0
<i>Dyürit</i>	24.4	<i>Qaratorpaq</i>	35.8
<i>Əhəngdaşı</i>	7.0	<i>Boz meşə</i>	26.6
<i>Karbonat</i>	7.7	<i>Çimli-kültorpaq</i>	22.2
<i>Qumdaşı</i>	11.1	<i>Kültorpaq</i>	12.2
<i>Slans</i>	44.4	<i>Torflu</i>	6.3

Aydındır ki, toriumun torpaqda və onun ayrı-ayrı süxurlarında olması tikinti materiallarında da öz əksini tapmalıdır.

Ayrı - ayrı tikinti materiallarında torium – ^{232}Th izotopunun miqdarı cədvəl 5.15 - də göstərilmişdir.

Torpaqüstü havada toriumun miqdarı, onun tozluluq dərəcəsindən asılı olaraq, geniş intervalda dəyişə bilər. Məsələn, əgər Norveçdə onun miqdarı $28 - 36 \text{ nBk/m}^3$ həddindədirsə, Almaniyanın şimal rayonlarında bu rəqəm $460 - 670 \text{ nBk/m}^3$ həddinə çatır (Kolb W.A., 1982).

Cədvəl 5.15

Bəzi tikinti materiallarında torium - ^{232}Th izotopunun miqdarına dair göstəricilər

Material	^{232}Th -nin miqdarı, Bk/kq	Material	^{232}Th -nin miqdarı, Bk/kq
<i>Kərpic</i>	37 – 125	<i>Qranit</i>	81 – 166
<i>Beton</i>	29 – 85	<i>Çınqıl</i>	18
<i>Sement</i>	44 – 55	<i>Ağac</i>	–
<i>Gips</i>	1.5 - 11		

Atmosferdə olan torium nəfəs yolları ilə ağ ciyəərə daxil olur. Bu orqan üçün toriumun yol verilən orta qiyməti $20 \text{ mBk} / \text{kq}$ həddində müəyyənləşdirilmişdir (HKDAP OOH, 1982).

Torium - ^{232}Th , əsasən də onun asan yuyula bilən parçalanma məhsulu olan radium - ^{228}Ra , torpaq və dağ süxurlarından asanlıqla qrunut sularına, çay, dəniz və okean sularına daxil ola bilər.

Geotermal sularda toriumun miqdarının daha çox olması qeydə alınmışdır (*Danali S. et.al., 1986*). Məsələn, radium - 228 izotopunun miqdarı Braziliyanın monasit ərazilərinin səth sularında 120 mBk/l həddinə çatır.

Dəniz suyunda toriumun kolloid halında çox az miqdarda (10^{-6} q/l tərtibində) olmasına baxmayaraq, dəniz orqanizmləri onu kifayət qədər çox miqdarda toplaya bilir. Belə ki, təbii şəraitdə toplanma əmsalı yaşıl yosunlar üçün $1.3 \cdot 10^3 - 1.8 \cdot 10^6$, boz-qonur yosunlar üçün $9.4 \cdot 10^3 - 1.45 \cdot 10^6$, qırmızı yosunlar üçün isə $1.7 \cdot 10^4 - 8.9 \cdot 10^6$ həddində olur.

Qeyd edək ki, uran - 238 izotopunun parçalanma məhsulu olan torium - 234 üçün toplanma əmsalı nisbətən kiçik olur. Belə ki, bu rəqəm fitoplankton üçün $1.7 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^6$, zooplankton üçün $6.2 \cdot 10^3$, yaşıl yosunlar üçün isə 10^5 həddində olur (*Радхемозэкология, 1977*). Torpaqdan torium, az miqdarda da olsa, bitkilərə keçə bilir. Belarusiyada aparılan tədqiqatlar göstərdi ki, torpağın üst səthində ^{232}Th - nin miqdarının $3.04 \cdot 10^{-6} \text{ q/q}$ qədər olan halında bu izotop ən çox qaragilədə, süpürgə kolunda və şibyədə ($5.29 - 7.14 \cdot 10^{-6} \text{ q/q}$), ən az miqdarda isə tozağacının yarpaqlarında, şam ağacının iynəyarpaqlarında, mərsində və ardic kolunda olur (*Хотько и др., 1983*). Heyvanlar arasında toriumun $9.51 \cdot 10^{-6} \text{ q/q}$ -a bərabər maksimal miqdarı yerüstü molyuskalarda qeydə alınmışdır (onlar üçün toplanma əmsalları $1.3 - 4.9$ intervalında dəyişir) (*Хотько и др., 1983*).

Müəyyən edilmişdir ki, yabanı ot bitkilərinin kök sistemlərinin torium və polonium hesabına α -aktivliyi onların yerüstü hissəsinin radium və radon hesabına α -aktivliyindən 12 dəfəyə qədər çox ola bilir (*Таскаев А.И., 1978*).

Kənd təsərrüfatı bitkilərini toriumu toplamaq qabiliyyətinə görə aşağıdakı sıra üzrə düzmək olar (*Маликов В.Г. и др., 1984*):

xörək çuğunduru < kələm < noxud < şəkər çuğunduru < xiyar < pomidor.

Az miqdarda toriuma malik olan ərazilərdə yaşayan insanların sümük toxumalarında bu radioizotopun miqdarı $8 - 24 \text{ mBk/kq}$, yumşaq toxumalarında isə $0.15 - 3 \text{ mBk/kq}$ qədər müəyyənləşdirilmişdir (*НКДАР ООН, 1982*). Yüksək miqdarda toriuma malik ərazilərdə isə bu göstəricilər daha yüksək olur (*Penna-Franca E., Julia C.M., 1984*).

İndi də Yer mənşəli daxili şüalanmanın bioloji təsirinin qiymətləndirilməsi üzərində dayanmaq. Məlum olduğu kimi, radionuklidlər insan orqanizminə nəfəs yolları vasitəsilə və həzm traktında daxil ola bilirlər.

Hesab olunur ki, yaşlı insanın orqanizmində radionuklidlərin konsentrasiyası adətən sabit qalır. Bu onunla əlaqədardır ki, radionuklidlərin orqanizmə daxil olması və onların orqanizmdən xaric olunması (həmçinin də radioaktiv parçalanma nəticəsində azalması) arasında dinamik tarazlıq olur.

Cədvəl 5.16 - da insanın ayrı-ayrı orqanlarının daxili şüalanmasına uyğun udulma dozasının illik qiymətləri göstərilmişdir (*Барсукоев О.А., Барсукоев К.А., 2003*).

Cədvəldən göründüyü kimi, K^{40} izotopunun illik udulma dozasında payı, C^{14} izotopu ilə müqayisədə, çox böyükdür. Həmçinin də, aydın olur ki, K^{40} müqayisədə, təxminən iki dəfə kiçikdir.

İnsanın ayrı-ayrı orqanlarının daxili şüalanmasına uyğun udulma dozasının illik qiymətləri ($10^{-5} Qr$)

Radionuklidlər	Orqan və ya toxumalar			
	Cinsi orqanlar	Ağ ciyər	Endostal hüceyrələr	Qırmızı sümük iliği
<i>Kalium - 40</i>	15	17	15	27
<i>Karbon -12</i>	0.5	0.6	2.0	2.2
<i>Yer və kosmogen mənşəli bütün radionuklidlər</i>	17	52	25	31

Toxumaların illik udulma dozasının ümumi qiymətlərinə gəldikdə isə, məlum olur ki, ən yüksək doza ağ ciyərin payına düşür və bu qiymət, cinsi və endostal hüceyrələrin payı ilə müqayisədə, uyğun olaraq, 3 və 2 dəfə çoxdur.

Məyyən edilmişdir ki, bir neçə yüz metr yüksəklikdə Yer mənşəli şüalanmanın bioloji təsiri sifirə qədər azalır. Traposfer və stratosfer yüksəkliklərində (1-50 km) radioaktiv şüalanma dozası böyük üstünlüklə kosmik mənşəli nuklonlar tərəfindən yaradılır.

Tipik nümunə kimi Qalaktik kosmik şüalanmanın ~ 16 km yüksəklikdə yaratdığı ekvivalent doza gücünün paylanması üzərində dayanaraq (cədvəl 5.17) (Барсуков О.А., Барсуков К.А., 2003).

Cədvəlin təhlilindən aydın olur ki, bu hündürlükdə şüalanma dozasını əsasən proton və neytronlar yaradır, elektron - foton komponentlərinin bu halda payı çox azdır.

Cədvəldə həmçinin təxminən bir tərtib az payla xarakterizə olunan mionlara uyğun şüalanma dozası da göstərilmişdir.

Aydındır ki, ümumi ekvivalent doza gücünə ayrı-ayrı zərrəciklərin verdiyi nisbi pay hündürlük və geomaqnit kəsiklərin "möhkəmliyindən" də asılı olmalıdır. Müəyyən edilmişdir ki, 16 km - dən aşağı hündürlükdə doza gücünə neytronların "töhvəsi" ən böyük olur.

5.2.2. Radon qazı şüalanması. Artıq qeyd etdiyimiz kimi, Yer qabığı süxurlarında paylanmış radium - 226 (^{226}Ra) izotopu fasiləsiz parçalanmaqla, nəcib qaz olan radon - 222 (^{222}Rn) izotopunu yaradır ki, bu da, öz növbəsində, ardıcıl parçalanmalara məruz qalmaqla, bir sıra digər parçalanma məhsulları yaradır. Radiumun (həm də radonun) parçalanma məhsulları haqqında ətraflı məlumat cədvəl 5.18 - də öz əksini tapmışdır (Кызул А.М., 1991)

Cədvəldən göründüyü kimi, parçalanma məhsulları arasında, yüksək enerjili α -şüalanma yaradan polonium - 218, bismut - 214, polonium - 210 kimi radionuklidlərlə yanaşı, həm də β - və γ -şüalanmalar yaradan qurğuşun - 214, bismut - 210, tallium - 206 kimi izotoplar da vardır. Parçalanma elementləri normal ətraf mühit

Qalaktik kosmik şüalanmanın ~16 km yüksəklikdə ayrı-ayrı zərrəciklərə görə yaratdığı ekvivalent doza gücünün (P) və enerjilərinin (E) paylanması

E, Mev	P, mkZv/saat	E, Mev	P, mkZv/saat
Protonlar		Elektronlar	
20-50	4.9	1.0 - 1.5	0.16
50-100	3.0	1.5 - 3.5	0.28
100-200	1.1	3.5 - 7.0	0.29
200-500	0.22	7.0 - 14	0.36
500-1000	0.12	14 - 25	0.17
Cəmi 9.34		25 - 50	0.34
Neytronlar		50 - 100	0.22
0.1 - 0.5	0.18	Cəmi 1.82	
0.5 - 1.0	1.59	γ - kvantlar	
1.0 - 10	3.0	0.1 - 100	2.0
10 - 100	2.3	Mionlar	
10 - 1000	1.67	100 - 700	0.3
Cəmi 8.74			

(Cədvəldə göstərilən rəqəmlər Günəş aktivliyinin minimumuna uyğun gəlir və Günəş şüalarının güclü təsirinə məruz qalmayan hündürlük və orta en dairəsinə uyğun radiasiya vəziyyətini xarakterizə edir).

temperaturunda bərk halda, su mühitində ayrı-ayrı radon qazı molekullarından əmələ gələn molekulyar – dispers halda, atmosfer havasında isə aerozollar şəklində olurlar.

İlkin yaranan parçalanma məhsullarının kifayət qədər kiçik yarımparçalanma perioduna (1.3 dəq. - dən 26.8 dəq. - dək) malik olmalarına baxmayaraq, onlar aerozol şəklində daimi radonu müşayiət etməklə, onunla tarazlıq halında olurlar.

Kifayət qədər böyük yarımparçalanma perioduna malik olan qurğuşun - 210 izotopu da, aerozol əmələ gətirməklə, biotun səthinə çökür və orada özünün parçalanma məhsulu olan polonium - 210 və digər parçalanma məhsulları ilə birlikdə radon mənşəli şüalanma mənbəyi rolunu oynayır.

Oxşar mənzərə toriumun - 228 izotopunun radioaktiv parçalanma məhsulu olan, qaz şəkilli radionuklid - taron 220 üçün də xarakterikdir (cədvəl 5.19).

Qeyd edək ki, taron qazı təbiətdə özünü radon - 222 kimi aparır. Ona görə də onu çox vaxt radon - 220 adlandırırlar. Belə ki, özünün və parçalanma məhsullarının yarımparçalanma periodları kifayət qədər kiçik olan taron qazı fiziki və kimyəvi xassələrinə görə radondan fərqlənmir. Bu qaz təbiətdə geniş yayılmış torium - 232 ilə tarazlıqda olaraq, həmişə radonu müşayiət edir. Bu baxımdan, bu qazları bəzən ümumi ad altında birləşdirərək, radon - 220, 222 adlandırırlar.

Radon və taronun özlərinin yüksək enerjili α - şüalanma yaratmalarına baxmayaraq, bu qazların parçalanma məhsulları α - şüalanmanı müşayiət edən əlavə β - və γ - şüalanmalar da yaradırlar. Bu səbəbdən də adı çəkilən şüalanmaların birlikdə mövcudluğu radon və taron qazlarına Yer biosferinə daimi təsir edən təbii radiasiya fonunun əsas komponenti kimi yüksək diqqətin olmasını tələb edir.

Radium - 226 izotopunun əsas parçalanma məhsulları

Radionuklid	Yarımparçalanma periodu	Şüalanmanın təbiəti	Zərrəciyin enerjisi (Mev)
²²⁶ Ra (Radium-226)	1602 il	α	4.78
²²² Rn (Radon-222)	3.82 sutka	γ α γ	0.18 5.49 0.51
²¹⁸ Po (Polonium-218)	3.05 dəq	α	6.00
²¹⁴ Pb (Qurğuşun-214)	26.8 dəq	β γ	0.72 0.35
²¹⁴ Bi (Bismut-214)	19.7 dəq	α β γ	5.45 1.51 0.6-1.7
²¹⁰ Tl (Tallium-210)	1.3 dəq	β γ	1.9-2.3 0.79
²¹⁰ Pb (Qurğuşun-210)	22.3 il	β γ	0.01 0.04
²¹⁰ Bi (Bismut-210)	5.01 sutka	β	1.1
²¹⁰ Po (Polonium-210)	138.4 sutka	α	5.3
²⁰⁶ Tl (Tallium-206)	4.2 dəq	β	1.53
²⁰⁶ Pb (Qurğuşun-206)	Stabil	-	-

Dediklərimizi ümumiləşdirərək qeyd edə bilərik ki, təbiətdə radonun iki əsas formasına təsadüf edilir. Bunlardan birincisi radon - 222 (${}_{86}\text{Rn}^{222}$) izotopudur ki, bu, uran - 238 (${}_{92}\text{U}^{238}$) izotopunun parçalanma məhsullarının yaratdığı radioaktiv sıranın üzvüdür. İkincisi isə torium - 232 (${}_{90}\text{Th}^{232}$) izotopunun parçalanma sırasının üzvü olan radon - 220 (${}_{86}\text{Rn}^{220}$) izotopudur. Radon - 222 izotopunun, radon - 220 izotopu ilə müqayisədə, ümumi şüalanma dozasına verdiyi paya görə daha çox əhəmiyyət kəsb etməsinə baxmayaraq, hər iki izotop, sadəcə olaraq, radon adlanır və eyni formada öyrənilir. Ümumiyyətlə götürdükdə, nəzərə almaq lazımdır ki, şüalanmanın böyük hissəsini bu qazların özləri yox, onların parçalanma məhsulları yaradır.

Dediklərimizdən aydın olur ki, təbii radionuklidlərin içərisində rəngə və spesifik iyə malik olmayan təsirsiz radon qazı böyük əhəmiyyət kəsb edir. Yaxın keçmişə qədər genetik əhəmiyyəti və bioloji təsiri heç də layiqincə qiymətləndirilməyən radon qazı hal-hazırda insan orqanizmi üçün ən təhlükəli şüalanma mənbəyi hesab olunur. Radonun yüksək radiasiya təhlükəsi yarada bilməsi onun geniş yayılması, yüksək nüfuzetmə və miqrasiyaetmə qabiliyyətinə malik olması və həmçinin də α - parçalanmaya uğramaqla, kiçik yaşama müddətli α - aktiv "qız" elementləri yarada bilməsidir.

Totium - 228 izotopunun əsas parçalanma məhsulları

Radionuklid	Yarımparçalanma periodu	Süalanmasının təbiəti	Zərrəciyin enerjisi (Mev)
²²⁸ Th (Torium-228)	1.913 il	α γ	5.4 0.08-0.2
²²⁴ Ra (Radium-224)	3.66 sutka	α γ	5.6 0.24
²²⁰ Rn (Taron və ya radon-220)	55 san	α γ	0.2 0.55
²¹⁶ Po (Polonium-216)	0.15 san	α	6.7
²¹² Pb (Qurğuşun-212)	10.64 saat	β γ	0.33 0.24
²¹² Bi (Bismut-212)	60.6 dəq	α β γ	6.05 2.2 0.04-1.0
²¹² Po (Polonium-212)	304 nsan	α	8.7
²⁰⁸ Tl (Tallium-208)	3.05 dəq	β γ	1.8 0.5-2.6
²⁰⁸ Pb (Qurğuşun-208)	Stabil	-	-

Qeyd edək ki, radioaktiv uran, torium və radium səpələnmiş halda, demək olar ki, Yer qabığının bütün elementlərində mövcud olur. Yüzə qədər protondan və yüzdən çox neytrondan təşkil olunmuş radium atomunun nüvəsi dağ süxurlarının kristallik qəfəsində milyon illərlə qala bilər. Bu radioaktiv elementin parçalanması, yəni onun nüvəsindən 2 proton və 2 neytronun α - zərrəcik şəklində çıxması nəticəsində qaz şəkilli elementin nüvəsi - radon yaranır. İstənilən qaz kimi, radon qazı da, cüzi imkan yaranan kimi əmələ gəldiyi boşluğu tərk etməyə cəhd edir. Qaya daxilində radon atomlarının belə imkanları məhduddur. Ona görə də radonun bir hissəsinin daşın səthindən atmosfərə daxil olmasına baxmayaraq, onun çox hissəsi dağ süxurlarının məsamələrində toplanıb qalır. Həmin məsamələrin səthlə əlaqəsi yaranan anda isə radonla zəngin hava xaricə çıxa bilər. Daş sıxılmaya məruz qalan halda radonun məsamələrdən çıxma intensivliyi arta bilər. Həqiqətən də, 1981- ci ildə amerikalı alimlər R.Xoylab və V.Breydi (Усманов С.М., 2001) qranitin bir ox üzrə sıxılmasını həyata keçirməklə, ondan intensiv radon ayrılmasını qeydə ala bilməmişlər.

Radonun bundan da yüksək konsentrasiyası torpaqda və yeraltı su mənbələrində müşahidə olunur. Torpaqda 10 sm dərinlikdə radonun miqdarı orta hesabla 136-158 kBk/m³ intervalında dəyişir.

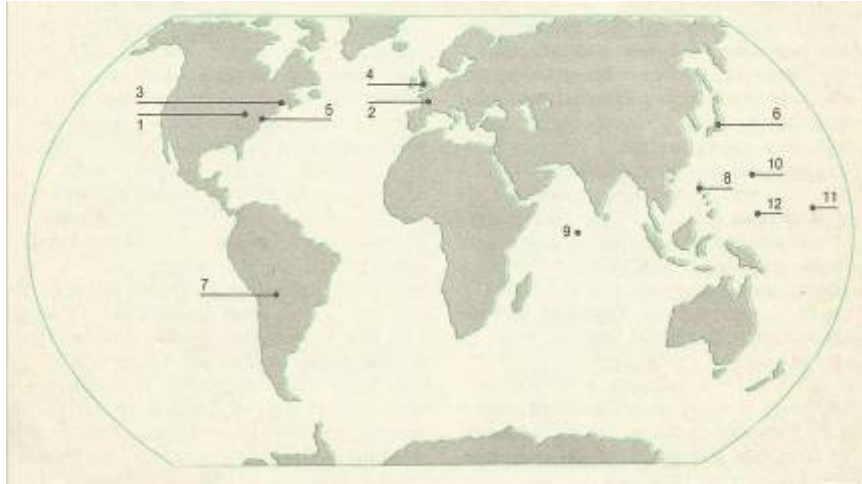
"Normal" uran və torium tərkibinə malik əksər torpaqlarda bu radionuklidlərin konsentrasiyası 7-50 Bk/kq intervalında dəyişdiyindən, radonun konsentrasiyasının da geniş intervalda dəyişəcəyini söyləmək mümkündür.

Aydındır ki, torpaqda radonun konsentrasiyası həm də onun diffuziyaetmə və atmosferə çıxma sürətindən asılı olacaq. Həqiqətən də qışda, torpağın səthi qarla örtülən zaman torpaqda radonun konsentrasiyası da yüksək olur.

Ərazi torpaqlarında, dağ süxurlarında, yeraltı su mənbələrində və neft - qaz ehtiyatlarında müəyyən miqdarda mövcud olan uran və toriumun parçalanması prosesində yaranan radon yüksək nüfuzetmə qabiliyyəti hesabına atmosferə və yerüstü su mənbələrinə nüfuz edə bilər.

Radonun Yer kürəsinin hər bir nöqtəsindən ayrılaraq, atmosferə daxil olmasına baxmayaraq, onun yerüstü atmosferdə konsentrasiyası müxtəlif yerlərdə eyni olmur.

Şəkil 5.10 -da yerüstü atmosferdə konsentrasiyası müxtəlif olan belə ərazilər öz əksini tapmışdır (*Радиация. Дозы, эффекты, риск, 1990*).



Şəkil 5.10. Atmosfer havasında radon-222 izotopunun konsentrasiyası yüksək olan ərazilər.

Şəkil 5.10-də göstərilən rəqəmlərə uyğun ərazilərin adları və onlarda radonun konsentrasiyasına dair göstəricilər cədvəl 5.20 – də öz əksini tapmışdır.

Radonun atmosferə fasiləsiz daxil olmasının əsas mənbəyi torpaq olduğundan, onun yerüstü atmosfer təbəqələrində miqdarı bu qazın torpaqdakı konsentrasiyasından və onun torpaqdan çıxma sürətindən (eksqalyasiya sürətindən) asılı olur.

Torpağın növündən və onun tərkibində olan radonun miqdarından asılı olaraq, eksqalyasiya sürəti geniş intervalda dəyişir (cədvəl 5.21).

Radonun yerüstü atmosfer təbəqələrində miqdarı həm də radonun ətraf mühitə daxil olma sürəti (emanasiya sürəti) ilə müəyyən olunur ki, bu da ərazinin yüksəkliyindən və meteoroloji şəraitindən (külək, yağış, temperatur), ilin fəslindən asılı

olmaqla yanaşı, həm də sutkanın müxtəlif vaxtlarında müxtəlif olur.

Cədvəl 5.20.

Yer kürəsinin ayrı-ayrı ərazilərində yerüstü atmosferdə radonun konsentrasiyası.

	Ərazilər	Radonun konsentrasiyası, Bk/m^3		Ərazilər	Radonun konsentrasiyası, Bk/m^3
1	<i>Sinsinnati</i>	9.6	7	<i>Boliviya</i>	1.5
2	<i>Fransa</i>	9.3	8	<i>Filippin</i>	0.3
3	<i>Nyu-York</i>	4.8	9	<i>Hind okeanı</i>	0.07
4	<i>Böyük Britaniya</i>	3.3	10	<i>Marian adası</i>	0.05
5	<i>Vaşinqton</i>	2.9	11	<i>Marşall adası</i>	0.02
6	<i>Yaponiya</i>	2.1	12	<i>Kapolin adası</i>	0.02

Cədvəl 5.21.

Radonun müxtəlif torpaqlardan çıxma (eksqalyasiya) sürətinə dair göstəricilər

Ölkə (ərazi)	Torpağın tipi	Eksqalyasiya sürəti, $mBk/m^2 \cdot s$	Ölkə, ərazi	Torpağın tipi	Eksqalyasiya sürəti, $mBk/m^2 \cdot s$
<i>Avstrya (Qrats)</i>	dağlıq	20.7	<i>ABŞ (İllinoys)</i>	Qara-torpaq	52.9
<i>Rusiya (Voloqda)</i>	kül torpaq	149.9	<i>Rusiya (Qafqaz)</i>	dağlıq	11.1
<i>ABŞ (Massaçusets)</i>	kül torpaq	3.7	<i>Türkmənistan (Qumlu səhralıqlar)</i>	səhra torpağı	4.8

Müxtəlif ərazilərdə radonun ətraf mühitə daxil olma (emanasiya) sürətinə dair məlumatlar cədvəl 5.22 –də öz əksini tapmışdır.

Radonun, taronun və onların parçalanma məhsullarının atmosferdə miqdarı havanın turbolentliyindən də güclü surətdə asılı olur. Sahilyani ərazilərdə isə onların miqdarı küləyin istiqaməti və sürəti ilə müəyyən olunur.

Radonun atmosferdə miqdarı gün ərzində də dəyişməyə məruz qalır. Bu dəyişmənin günorta minimuma, gecə yarısı isə maksimuma malik olması müşahidə olunur. Radonun konsentrasiyasının fəsilədən asılı dəyişməsində isə minimum qış aylarına, maksimum isə iyun, iyul aylarına təsadüf edir.

Radonun illik emanasiyası $(5 - 10) \cdot 10^{19} Bk$ həddində olur. Bu baxımdan, radonun atmosferin yerüstü təbəqəsində konsentrasiyası da geniş intervalda dəyişir.

Cədvəl 5.22.

Müxtəlif ərazilərdə radonun ətraf mühitə daxil olma (emanasiya) sürətinə dair göstəricilər

Ölkə	Radonun emanasiya sürəti ($mBk \cdot m^{-2} \cdot san^{-1}$)	Ölkə	Radonun emanasiya sürəti ($mBk \cdot m^{-2} \cdot san^{-1}$)
<i>Avstriya</i>	8.6-20.9	<i>Yaponiya</i>	3.4-8.8
<i>Fransa</i>	15	<i>Filippin</i>	11
<i>Almaniya</i>	17	<i>ABŞ</i>	18-53
<i>İrlandiya</i>	27	<i>Rusiya</i>	3.8-19

Radonun konsentrasiyası sahiyani ərazilərdə kiçik, kontinental ərazilərdə isə yüksək olur (cədvəl 5.23).

Cədvəl 5.23.

Müxtəlif coğrafi rayonlarda atmosferin yerüstü təbəqəsində radonun konsentrasiyası

Coğrafi rayon	Radonun miqdarı (Bk/m^3)	Coğrafi rayon	Radonun miqdarı (Bk/m^3)
<i>Fransa</i>	9.3	<i>Böyük Britaniya</i>	3.3
<i>Avstriya</i>	7.0	<i>AFR</i>	2.6
<i>Rusiya</i>	2.2 – 6.3	<i>Yaponiya</i>	2.1
<i>ABŞ</i>	0.1 – 9.6	<i>Sakit okean adaları</i>	0.02 – 0.2
<i>Finlandiya</i>	2.3 – 3.8	<i>Hind okeanı</i>	0.07
<i>Hindistan</i>	3.7	<i>Sakit okeanın cənub hissəsi</i>	0.07
<i>Polşa</i>	3.3		

Cədvəl 5.24 -də bəzi ölkələrin atmosfer havasında radon - 222 və qurğuşun - 212 elementlərinin konsentrasiyasının orta qiymətləri göstərilmişdir. Göründüyü kimi, müxtəlif coğrafi ərazilərdə radon - 222 və qurğuşun – 212 izotoplarının orta konsentrasiyası, uyğun olaraq, 4 və 2 tərtib fərqlənə bilər.

Havada radonun konsentrasiyası hündürlük artdıqca, sürətlə azalır. Əgər torpağın üzərində radonun konsentrasiyasını 100 % qəbul etsək, onda 3 - 4 m hündürlükdə bu rəqəm 50%-ə qədər azalacaq, sonra isə azalma əhəmiyyətli olmayacaq (cədvəl 5.25).

Cədvəl 5.24.

Atmosfer havasında Rn^{222} və Pb^{212} izotoplarının orta konsentrasiyası, $Bk/m^3 \cdot 10^{-5}$

Coğrafi rayon	Rn^{222}	Pb^{212}	Coğrafi rayon	Rn^{222}	Pb^{212}
<i>Fransa</i>	928.7	-	<i>Nyu-Meksika</i>	888	-
<i>Hindistan</i>	369.6	11.1	<i>Puerto-Riko</i>	0.5	0.1
<i>Böyük Britaniya</i>	329.7	-	<i>Alyaska</i>	20.0	0.1
<i>ABŞ (San-Fransisko)</i>	59.9	20.0	<i>Şimali Atlantika</i>	20.0	-
<i>Sinsinnati</i>	958.3	-			

Cədvəl 5.25.

Atmosfer havasında Rn^{222} və Rn^{220} izotoplarının orta konsentrasiyasının Yer səthindəki konsentrasiyasına nisbətən hündürlükdən asılı olaraq dəyişməsi, %

Rn^{222}		Rn^{220}	
Hündürlük, m	Konsentrasiya	Hündürlük, m	Konsentrasiya
0.01	100	0	100
1	95	5	70
10	87	10	50
100	69	25	20
1000	38	50	5
7000	7	100	0.5

Müxtəlif mənşəli sular da radonun miqdarı kəskin fərqlənir. Radonun yüksək konsentrasiyası ($400 \text{ kBk} / \text{m}^3$ - dən çox) uran mədənlərinə yaxın sular da, aşağı konsentrasiyası isə çökmə süxurların qurunt sularında müşahidə olunur.

Cədvəl 5.26 - da müxtəlif mənşəli sular da radonun miqdarına dair məlumatlar öz əksini tapmışdır (rəqəmlər ARTEK - in 1982 - ci il məlumatlarından götürülmüşdür) (HKQAP OOH, 1982). Nəticələrdən müxtəlif mənşəli sular da radonun miqdarının 1000 dəfəyə qədər fərqlənməsi aydın görünür. Yeraltı su mənbələri ilə zəngin olan ərazilərin torpaqüstü atmosferinin yüksək radon tərkibinə malik olması da məhz həmin mənbələrin radonla zəngin olması ilə əlaqədar olur.

Radonun müxtəlif mənşəli sulara konsentrasiyası

Su mənbələri	Ölkə	Rayon	Suda radonun konsentrasiyası (kBk·m ⁻³)
<i>Dəniz bə okeanlar</i>			10 ⁻³
<i>Çaylar</i>			7.4-11.1
<i>İçməli sular</i>	Avstriya	Zalsburq Badqastayn	1.5-7 3700
	Finlandiya	Helsinki Digər rayonlar	1200 280-4500
	İtaliya		80
	İsveçrə		19-150
	ABŞ	Men ştatı Şimali Karolina ştatı	660-5800 100-1700
	Böyük Britaniya		7.4-481
<i>Mənbələr və buruq suları</i>	Fransa		3700-ə qədər
	Yaponiya		25900-ə qədər
	ABŞ		11100-ə qədər

Radonun suda miqdarı, su təchizatı mənbəyindən asılı olaraq, 10 - 100 mln. Bk/m³ intervalında dəyişir. Yeraltı sulara radonun konsentrasiyası 4 - 5 Bk/l -dən 3 - 4 MBk/l -ə qədər, yəni milyon dəfəyə qədər fərqlənə bilər.

Radonun konsentrasiyası nadir hallarda göl və çaylarda 0.5 Bk/l həddini aşmağa bilər. Misal olaraq, böyük miqdarda radon qazı Finlandiya və ABŞ-ın artezian quyularında, həmçinin də Helsinkinin su təchizatı sistemində aşkar edilmişdir. Bu ölkənin su təchizatı sistemində radonun qeydə alınan ən yüksək konsentrasiyası 100 mln. Bk/m³, ən aşağı konsentrasiyası isə "0" olmuşdur.

İstifadə olunan adi suda radonun konsentrasiyası, adətən, kifayət qədər az olur, lakin bəzi su mənbələri (dərini su quyuları, artezian quyuları və s.) böyük miqdarda radona malik ola bilər. Müqayisə üçün qeyd edək ki, əgər Avstriyanın Zalsburq əyalətinin su mənbələrində radonun miqdarı 50 kBk/m³ təşkil edərsə, bu rəqəm Finlandiyanın Helsinki və Vantaa əyalətlərinin su mənbələrində 1200, ABŞ - ın Men ştatının Hankok əyalətinin su mənbələrində isə 1400 kBk/m³ həddində olur.

ARTEK –in hesablamalarına əsasən Yer kürəsi əhalisinin 1% - dən azı xüsusi radioaktivliyi 1 mln. Bk/m³, 10% - dən azı isə xüsusi radioaktivliyi 100000 Bk/m³ – dan çox olan suda istifadə edir (HKQDAP OOH, 1982).

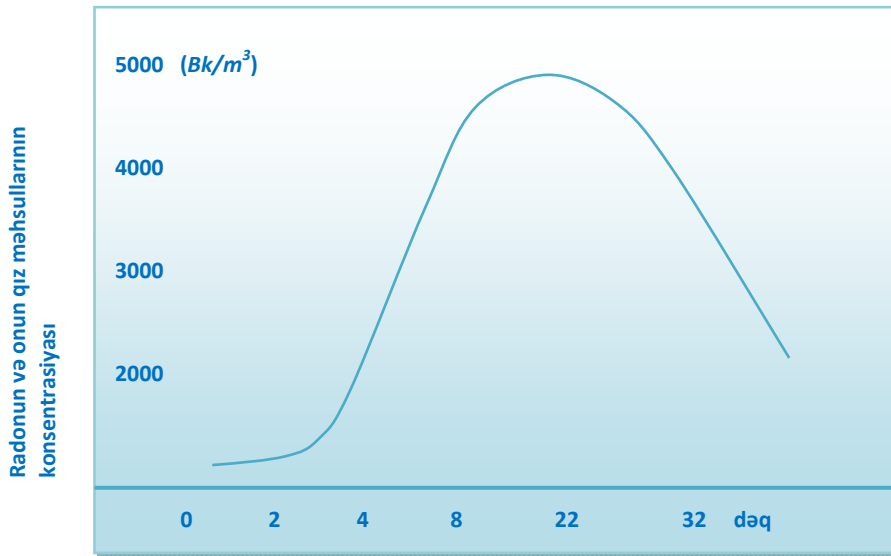
İnsanlar suyun çox hissəsini adətən qida və isti içkilər (kofe, çay) vasitəsilə qəbul edirlər. Suyun qaynaması və yaxud da isti qida hazırlanması zamanı radon

əhəmiyyətli dərəcədə suyu tərk edir. Buna görə də radon orqanizmə əsasən qaynamamış su ilə daxil olur, lakin belə olan halda da o, orqanizmdən çox asanlıqla çıxarılır.

Orqanizm üçün daha böyük təhlükəni nəfəsalma zamanı su buxarı ilə daxil olan radon yaradır. Bu hal əsasən vanna otağında duş qəbulu zamanı baş verir. Ağ ciyərdə su buxarı ilə daxil olan radon orqanizmə çiy su vasitəsilə daxil olan radonla müqayisədə daha təhlükəli olur. Vanna otağında suyun duşla səpələnməsi radonun sudan havaya, oradan isə asanlıqla insan orqanizminə keçməsinə səbəb olur. Ona görə də mənzildə radonla şüalanma təhlükəsi ən çox duş qəbul edən zaman yaranır.

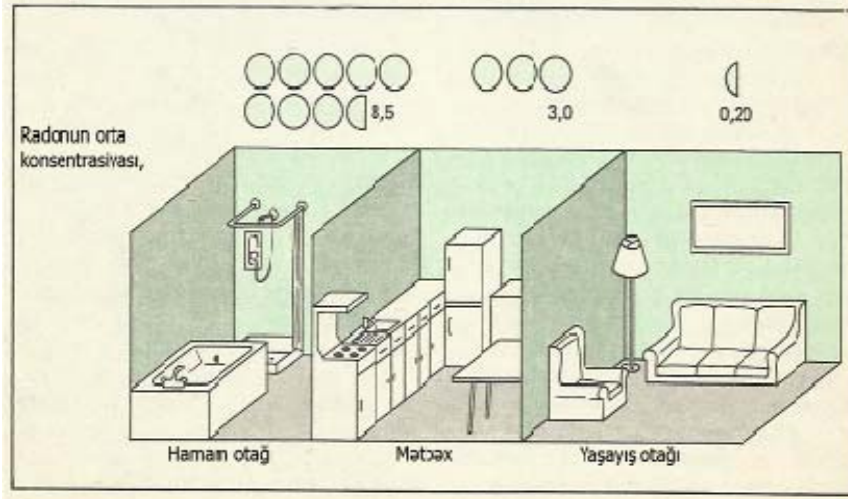
Müəyyən edilmişdir ki, $4.4 \text{ kBk} / \text{m}^3$ miqdarında radona malik su xəttindən istifadə etməklə duş qəbul edərkən 3 dəqiqədən sonra vanna otağında onun miqdarı duş qəbul edənədək olan $19 \text{ Bk}/\text{m}^3$ -ə bərabər miqdarından $1890 \text{ Bk}/\text{m}^3$ miqdarınadək artır. 8 dəqiqədən sonra isə radonun miqdarı $3500 \text{ Bk}/\text{m}^3$, parçalanma məhsullarının miqdarı isə $2400 \text{ Bk}/\text{m}^3$ həddinə çatır (Mc Gregor R.G., Gourgon I.A., 1980).

Kanadada aparılmış tədqiqatların nəticələrindən isə aydın olmuşdur ki, isti duş alınandan 7 dəqiqə sonra radonun və onun parçalanma məhsullarının vanna otağında konsentrasiyası kəskin artır və duş qəbulunun dayandırılmasından 1.5 saat sonra onun miqdarı əvvəlki qiymətinə qədər azalır (şəkil 5.11).



Şəkil 5.11. Duş qəbulu zamanı radonun və onun parçalanma məhsullarının konsentrasiyasının dəyişməsinin təxmini təsviri

Finlandiyada evlərin radioekoloji tədqiqi göstərmişdir ki, vanna otağında radonun orta konsentrasiyası mətbəxlə müqayisədə 3 dəfə, yaşayış otaqları ilə müqayisədə isə 40 dəfəyə qədər çox olur (şəkil 5.12).



Şəkil 5.12. Mənzilin ayrı-ayrı otaqlarında radonun orta konsentrasiyası (kBk / m^3 – lərlə).

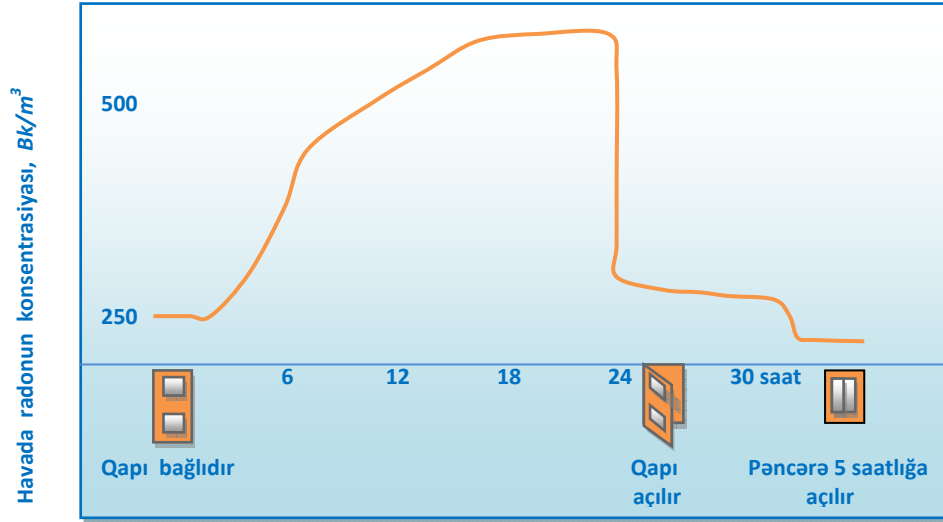
İlk baxışdan paradoksal görünsə də, radonla bağlı şüalanma dozasının əsas hissəsini insan qapalı, havası dəyişdirilməyən otaqda olarkən alır. Mülayim hava şəraitinə malik ərazilərdə qapalı otaqlarda radonun konsentrasiyası açıq havadakı konsentrasiyasından 8 dəfəyə qədər çox olur. Düzdür, tropik ölkələrə dair belə məlumatlar olmasa da, hesab etmək olar ki, bu ölkələrdə hava kifayət qədər isti olduğundan otaqlar az qapalı olur və ona görə də radonun otaqdaxili havada konsentrasiyası bayırdakı konsentrasiyasından çox fərqlənməməlidir.

Ətraf mühitdən təcrid olunmuş tikililərdə otaqdaxili havada radonun miqdarı kifayət qədər arta bilər (Şəkil 5.13.)

Otağa müxtəlif yollarla, məsələn, otağın fundamentindən, torpaq döşəmədən, evin konstruksiyasında istifadə olunan müxtəlif materiallardan daxil olan radon orada toplanaraq, kifayət qədər yüksək radiasiya fonu yarada bilər. Bu hal o zaman daha dramatik olur ki, ev yüksək radionuklid tərkibli torpaq üzərində tikilir.

Radonun və onun parçalanma məhsullarının konsentrasiyasının torpağa toxunan qapalı binalarda çox olmasına dair məlumatlar kifayət qədərdir. Məsələn, istixana və oranjeriyalarda yetişdirilən kənd təsərrüfatı bitkiləri və kökəldilmək üçün burda saxlanılan mal-qaranın yüksək konsentrasiyalı radon mühitində olması danılmaz faktır. Bu cür tikililərin havasında radonun miqdarı $81-707 Bk / m^3$ intervalında olur.

Verilmiş yerdə radonun konsentrasiyasının artmasına, torpaqdan daxil olmaqla yanaşı (əsasən, zirzəmi və binaların birinci mərtəbəsinə), tərkibində radium və torium olan tikinti materiallarından istifadə də səbəb ola bilər.



Şəkil 5.13. Bir otaqlı mənzilin havasının dəyişdirilməsinin onda radonun miqdarına təsiri.

Cədvəl 5.27. -da radon mənbəyi rolunu oynayan müxtəlif tikinti materiallarında ^{226}Ra və ^{232}Th izotoplarının miqdarı təsvir edilmişdir (rəqəmlər ARTEK - in 1982-ci il məlumatlarından götürülmüşdür) (HKQAP OOH, 1982).

Tikinti materiallarının növündən, coğrafi yerləşməsindən və ventilyasiya şəraitindən asılı olaraq, yaşayış binalarının mənzillərində, müəsislərin otaqlarında radonun miqdarı geniş intervalda dəyişə bilər.

Bir neçə seçilmiş ölkələrin yaşayış binalarında radonun miqdarına dair məlumatlar cədvəl 5.28. - də göstərilmişdir (Gezell T.F., 1983).

Radonun otaqdaxili konsentrasiyasının açıq havadakı konsentrasiyasından ~ 5000 dəfə yüksək olan tikililər, məsələn, XX əsrin 70-ci illərində İsveçdə və Finlandiyada qeydə alınmışdır. 1982-ci ildə bu cür tikililər Böyük Britaniyada və ABŞ-da da aşkar edilmişdir.

Tikinti materialı kimi istifadə olunan mərmər və pemza (süngərdaşı) kifayət qədər yüksək xüsusi radioaktivliyə malik olurlar. Bu materiallardan, məlum olduğu kimi, əsasən Rusiyada (həm də SNQ dövlətlərində) və Qərbi Almaniya da inşaat işlərində geniş istifadə olunur. Çıxıl daşı, gil, qum kimi tikinti materialları da əksər hallarda uran və torium birləşmələrinə malik olur ki, onlar da radon mənbəyi rolunu oynamaqla, radiasiya şüalanması yaradırlar (şəkil 5.14.).

Ağac, kərpic və beton kimi geniş yayılmış tikinti materialları isə nisbətən kiçik radon şüalanması yaradır.

Ağacdən tikilmiş evlərdə bu şüalanma ən az (0.5 mZv/il qədər), kərpic və dəmir-beton evlərdə isə bir qədər çox (1.5 mZv/il qədər) olur.

Cədvəl 5.27.

Müxtəlif tikinti materiallarında ^{226}Ra və ^{232}Th izotoplarının xüsusi aktivliyi

Tikinti materialının növü	^{226}Ra ($\text{Bk} \cdot \text{kg}^{-1}$)	^{232}Th ($\text{Bk} \cdot \text{kg}^{-1}$)
	320 – 2620	24-115
<i>Fosfoqips</i>	24 – 555	3-22
<i>Uçucu kül</i>	110 – 610	74-320
<i>Sement</i>	9 – 168	4-81
<i>Yüngül doldurucu</i>	36 – 195	37-182
<i>Beton doldurucusu (çınqıl,)</i>	4 – 167	4-463
<i>Kərpic</i>	33 – 152	21-178
<i>Doldurucu şlak</i>	84 – 151	32-182
<i>Qum əsaslı qazbetonu</i>	7 – 130	4-155
<i>Kirəmid</i>	63 – 91	32-64
<i>Beton</i>	11 – 80	9-105
<i>Əhəngli kərpic</i>	6 – 25	4-29
<i>İzoləedici material (daş və ya şüşə keçə)</i>	13 – 15	4.6-15
<i>Təbii qipsdən suvaq</i>	1 – 13	1-12
<i>Ağac</i>	0.3 – 0.5	0.2-1.2

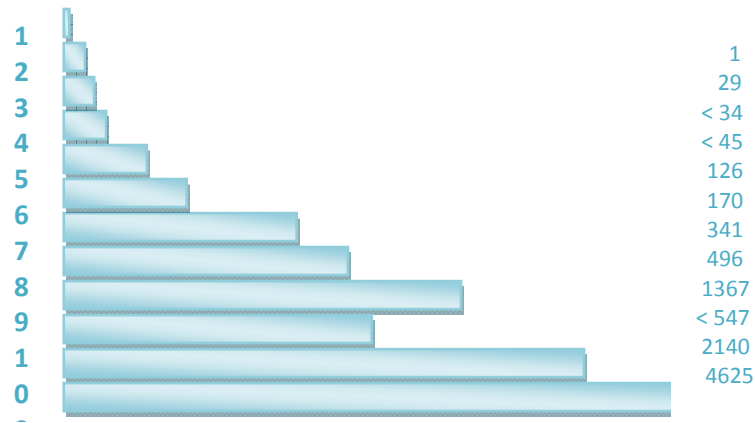
Cədvəl 5.28.

Müxtəlif ölkələrin yaşayış binalarında radonun miqdarına dair göstəricilər

Ölkələr	Radonun miqdarı (Bk/m^3)	Ölkələr	Radonun miqdarı (Bk/m^3)
<i>İsveç</i>	37 – 780	<i>Kanada</i>	22 – 240
<i>Finlandiya</i>	7.4 – 770	<i>Böyük Britaniya</i>	0.7 – 91
<i>ABŞ</i>	3.7 – 520	<i>Polşa</i>	1.2 – 52
<i>Avstriya</i>	1.9 – 276	<i>Almaniya</i>	2.6 – 25
<i>Norveç</i>	7.4 - 250		

Radon evlərə tikinti materiallarından başqa, həm də torpaq havası vasitəsilə daxil olur. Bu səbəbdən də radonun konsentrasiyası çox mərtəbəli binaların yuxarı mərtəbələrində, birinci mərtəbə ilə müqayisədə, az olur.

Əgər evlərdə hava sorma gürğuları yoxdursa, onda otaq havasında radonun konsentrasiyası əhəmiyyətli dərəcədə arta bilər. Ev radioaktiv elementlərlə zəngin torpaq üzərində tikildikdə isə vəziyyət daha dramatik olur.



1. Ağac (Finlandiya), 2. Təbii qips (Böyük Britaniya), 3. Qum və çınqıl daşı (Almaniya), 4. Portland sementi (Almaniya), 5. Kərpic (Almaniya), 6. Qranit (Böyük Britaniya), 7. Kül tozu (Almaniya), 8. Giltorpaq (İsveç 1974 - 1979), 9. Giltorpaq (İsveç 1929 - 1974), 10. Fosfoqips (Almaniya), 11. Kalsium silikat şlakı (ABŞ), 12. Uran zənginləşdirmə müəssisələrinin tullantıları (ABŞ).

Şəkil 5.14. Müxtəlif ölkələrdə istifadə olunan tikinti materiallarının radium və toriuma görə xüsusi radioaktivliyi (Bk/kg -larla).

Dediklərimizdən aydın olur ki, binaların daxilində radonun konsentrasiyasının artmasına səbəb təkcə tikinti materialları deyil, həm də binanın altındakı torpaqdır. Buna görə də ağacın, digər tikinti materialları ilə müqayisədə, daha az miqdarda radon şüalandırmasına baxmayaraq, bəzi hallarda ağacdən tikilmiş evlərdə radonun miqdarı kərpic evlərlə müqayisədə çox olur. Məsələn, Norveçdə aparılan tədqiqatlar ağacdən tikilmiş evlərdə radonun konsentrasiyasının kərpic evlərə nisbətən çox olmasını göstərmişdir və müəyyən edilmişdir ki, buna səbəb ağac evlərin adətən az mərtəbəli olması və onların radon mənbəyi olan torpağa daha yaxın olmasıdır.

Uzun illər ərzində İsveçdə beton istehsalında gilli torpaqdan istifadə edilmişdir. Bu üsulla istehsal olunan betonla təxminən 350 - 700 min -ə qədər ev tikilmişdir. Sonradan aydın olmuşdur ki, gilli torpaq çox yüksək radioaktivliyə malikdir. Ona görə də 1970-ci illərin ortalarından başlayaraq həmin gilli torpaqlardan istifadə kəskin azaldılmış, hal-hazırkı dövrdə isə tamamilə dayandırılmışdır.

Fosfor mənbələrinin işlənməsi zamanı, məlum olduğu kimi, əlavə məhsul kimi kalsium-silikat şlakı əmələ gəlir. Uzun müddət Şimali Amerikada (Aydaxo və Florida ştatları) və Kanadada tikinti materialları və beton komponenti kimi istifadə olunan bu şlakın sonradan kifayət qədər yüksək radioaktivliyə malik olması müəyyən edilmişdir. Fosfor mədənlərinin başqa texnologiya ilə işlənməsi zamanı isə fosfogips adlanan əlavə məhsul alınır. Bu məhsuldan da uzun müddət tikinti blokları və sement

hazırlanması, suvaq və arakəsmə işlərində istifadə edilmişdir. Fosfogips, həm istehsalat tullantısı olaraq, həm də təbii qıpsdən ucuz olduğu üçün ondan uzun müddət geniş istifadə edilmiş və ətraf mühit qoruyucuları tərəfindən də istifadəsi bəyənilmişdir. Bu tullantıdan istifadə ətraf mühitin qorunub saxlanması və təbii sərvətlərdən səmərəli istifadə baxımından da az əhəmiyyət kəsb etməmişdir. Təkcə Yaponiyada 1974-cü ildə tikinti sənayesində bu materiallardan 3 mln. ton - a qədər istifadə edilmişdir. Sonradan fosfogipsin də təbii gipslə müqayisədə dəfələrlə böyük xüsusi radioaktivliyə malik olması aydın olmuşdur.

Tikinti materiallarının hazırlanmasında istifadə olunan yüksək radioaktivlikli digər sənaye tullantılarına misal olaraq, alimium istehsalının tullantısı olan qırmızı palçıqı, qara metallurgiya sənayesi tullantısı – domen şlakını və kömürün yanmasından əmələ gələn kül tozunu göstərmək olar.

Tikintidə hətta uran mədənləri tullantılarından istifadə halları da mövcud olmuşdur. Məsələn, 1952 – 1966 -cı illərdə uran konsentrasiı istehsal edən zənginləşdirici fabrikin filiz olmayan laylarının boş süxurlarından tikinti materialı kimi istifadə edilmiş və həmin torpaq Kolqrada ştatının Qrand - Djankşen şəhərində tikinti aparılan sahədə tikilən evlərin altına tökülmüşdür. Kanadanın Port - Xop şəhərində (Ontario əyaləti) də tikinti məqsədi ilə radium çıxarılan mədənin tullantılarından istifadə edilmişdir. Hər iki halda dövlət işə qarışmış və insanların sağlamlığına vurduğu zərəərə görə günahkarlar cinayət məsuliyyətinə cəlb edilmişlər.

Dediklərimizdən aydın olur ki, tikinti materiallarına radioekoloji nəzarət xüsusi əhəmiyyət kəsb etməli və hər bir ölkədə tikinti materiallarından istifadə xüsusi dövlət orqanlarının nəzarətində olmalıdır.

Qeyd etmək lazımdır ki, radioekoloji cəhətdən təmiz olan tikinti materiallarından istifadə halında belə, qapalı tikililərdə əsas radon mənbəyi rolunu üzərində evlər tikilmiş torpaq oynaya bilir və qapalı tikililərdə döşəməni deşib keçən radon əhalinin əsas radioaktiv şüalanma mənbəyi olur.

Bu zaman evlərin köhnə filizçixarma süxurlarının üzərində tikilməsi halları da az olmamışdır. Bu hallara ABŞ-ın Kolorado ştatında (evlər uran mədənlərinin tullantıları üzərində tikilib), İsveçdə (evlər giltorpağın işlənmə tullantıları üzərində inşa edilmişdir), Avstraliyada (evlər radonun çıxarılmasından qalan tullantıların üzərində tikilmişdir), Floridada (tikililər fosfat çıxarılmasından sonra regenerasiya olunmuş ərazilərdə inşa olunub) rast gəlmək olur.

Helsinkidə də bəzi evlərdə radonun konsentrasiyasının onun ətraf havadakı konsentrasiyasından 5000 dəfə yüksək olması müəyyən olunmuşdur ki, bunun da yeganə səbəbinin evlərin yerləşdiyi torpaq sahələri olması aydın olmuşdur. İsveçdə isə evlərin tikintisində giltorpaq sementindən istifadə edilməsinə baxmayaraq (adətən, bu növ torpaqlar radionuklid tərkibə malik olurlar), sonradan müəyyən edilmişdir ki, yüksək radiasiyanın yaranmasına səbəb heç giltorpaq sementi olmayıb, yenə də torpaqdan emissiya olunan radon qazıdır.

Deyilənlərə əsaslanaraq hesab etmək olar ki, zirzəmi otaqlarda və yaşayış binalarının birinci mərtəbələrində yaşayanlar radonun daha güclü təsirinə məruz

qalmalıdır. Ona görə də bu cür tikililərdə yaşayanların radonla şüalanma riskini azaltmaq üçün xüsusi mühafizə tədbirləri həyata keçirilməlidir. Bunun üçün döşəməyə xüsusi örtük çəkmək və otaqların vaxtaşırı havasını dəyişmək lazımdır. Qeyd edək ki, otağın havasının hər 2-3 saat -dan bir dəyişdirilməsi radonun konsentrasiyasının 3-4 dəfə azalmasına imkan verir. Əgər otaq havasında radonun konsentrasiyasının 400 Bk/m³ -dan aşağı salmaq mümkün olursa, onda evin sakinləri mütləq oradan köçürülməlidir.

Qeyd edək ki, evin daxili və xaricindəki təzyiqlər fərqi hesabına torpaqdan və tikinti materiallarından azad olan radon hava vasitəsilə evlərə dolur. Radonlu hava isə kip bağlanmayan qapı və pəncərələrdən, boru və elektrik xətləri daxil olan yarıqlardan və s. otaqlara daxil olur. Bu zaman həmçinin də nəzərə alınmalıdır ki, qapı və pəncərə çərçivələrinin kipləşdirilməsi, müxtəlif yarıq və deşiklərin doldurulması havanın təmizlənmə sürətini azaldır və nəticədə radonun otaqda miqdarı artır.

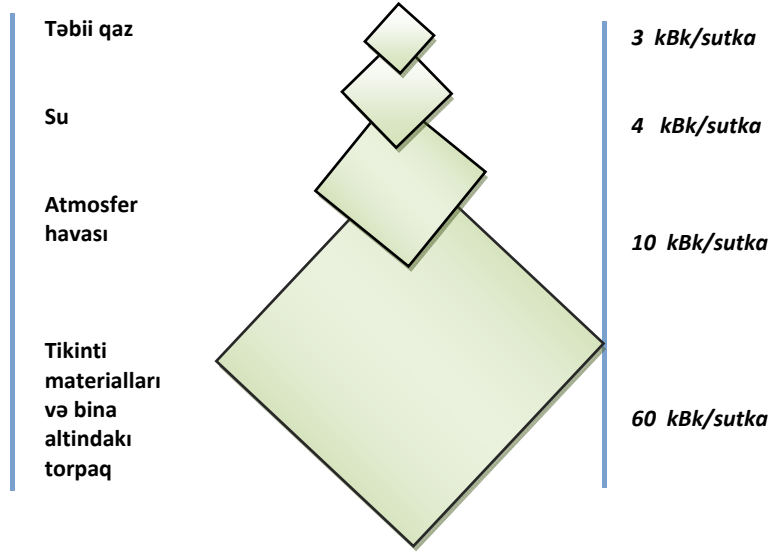
Torpaqdan çıxan radonun evlərə daxil olma sürəti, faktiki olaraq, mərtəbələrarası örtüklərin qalınlığı və bütövlüyü (yəni yarıq və mikro çatların sayı) ilə müəyyən olunur. Deyilənlərdən məlum olur ki, döşəmə və divarlardakı yarıq və çatların doldurulmasından sonra otaqda radonun miqdarı azalmalıdır. Bu istiqamətdə aparılmış tədqiqat işləri dediyimiz fikri təsdiqləyən nəticələr əldə etməyə imkan vermişdir. Döşəmədəki deşiklərdən sızan radonun miqdarının azaldılmasının bundan da effektiv yolu evin zirzəmisində ventilyasiya qurğularının yerləşdirilməsidir. Bunlardan əlavə, divara poliamid, polivinilxlorid və ya polietilen tipli plastik materiallardan üzlük çəkilməsi, divarın epoksid əsaslı boya və ya üç qat yağlı boya ilə rənglənməsi radonun divardan emissiyasını 10 dəfəyə qədər azalda bilər. Divarın divar kağızı ilə örtülməsi də radonun emissiyasını təxminən 30 % azaldır.

Tikinti materiallarından, atmosfer havasından və sudan başqa radonun yaşayış binalarına daxil olma mənbələrindən biri də, az əhəmiyyətli olsa da, təbii qazdır.

Şəkil 5.15.- də adı çəkilən mənbələrin binalarda radonun ümumi miqdarına verdiyi pay diaqramı təsvir edilmişdir.

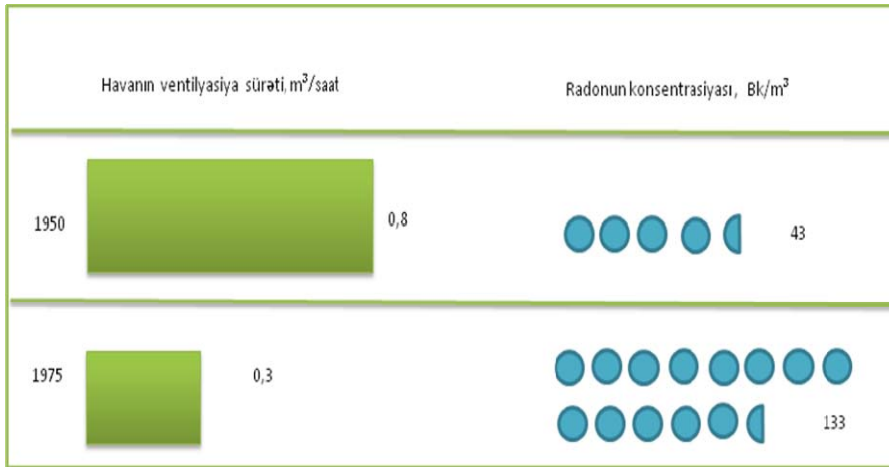
Qeyd etmək lazımdır ki, qazın ilkin emalı prosesində və istifadəçilərə verilməzdən əvvəl saxlanma müddətində radonun çox hissəsi uçar. Buna baxmayaraq, əgər mətbəx sobaları, qazla işləyən qızdırıcı cihazlar və sistemlər sorucu qurğularla təmin olunmayıbsa, radonun otaqda miqdarı kifayət qədər arta bilər. Ətraf mühitlə əlaqəsi olan sorucu qurğular olan halda isə qazdan istifadə otaqda radonun konsentrasiyasına, demək olar ki, təsir etmir. İlkin emal prosesində təbii qazdan ayrılan böyük miqdarda radon bu emalın əlavə məhsulu olan mayeləşdirilmiş qaza da daxil olur. Buna baxmayaraq, daha geniş istifadə edildiyinə görə təbii qazdan evlərə, daha radioaktiv olan mayeləşdirilmiş qazla müqayisədə, 10-100 dəfə çox radioaktiv maddə daxil olur.

Otaqların germetik olması və onların havasının vaxtaşırı dəyişdirilməməsi otaq havasında radonun miqdarının kəskin artmasına səbəb olur. Bu hal evlərin yüksək germetikliyinə xüsusi diqqət yetirilən İsveç üçün xarakterikdir. Evlərin inşasında tikinti materialı olaraq, giltorpaqdan istifadə edilmədiyindən, hesab olunur ki, bu ölkədə



Şəkil 5.15. Binalarda radonun miqdar göstəriciləri

belə bir problem olmamalıdır. Buna görə də 50-ci illərdən başlayaraq İsveçdə enerjiyə qənaət məqsədi ilə evlərin germetikliyini artırmaq kampaniyası başlandı və 70 -ci illərin ortalarında bunun nəticəsi kimi evlərdə radonun miqdarının 3 dəfədən də çox artması aşkar edildi (*Радиация. Дозы, эффекты, риск, 1990*) (şəkil 5.16).



Şəkil 5.16. Otaq havasının ventilyasiya sürətinin azalması zamanı İsveç evlərində radonun konsentrasiyasının artmasının sxematik təsviri.

Binaların germetikliyinin artırılması hesabına qənaət edilən hər *Qiqavatt·il* elektrik enerjisi işveçlilərin əlavə *5600 insan·Zv* şüalanma dozası qəbul etməsinə səbəb oldu. Son illərin tədqiqatları göstərdi ki, işveç problemi heç də, bir vaxtlar hesab edildiyi kimi, müstəsna hal deyil. Digər ölkələrdə də etiraf etməyə başladılar ki, bu sahədə onlarda da ciddi problemlər mövcuddur. Sadəcə olaraq, işveç fenomeninin yaranmasına səbəb həmin ölkədə, digər ölkələrlə müqayisədə, radioekoloji tədqiqatların tez başlanması olmuşdur.

Müxtəlif ölkələrdə radonun və onun parçalanma məhsullarının konsentrasiyasının *1000-10000 Bk/m³* intervalında olduğu evlərin sayı ümumi sayın *0.01-0.1%* -ni təşkil edir. Belə çıxır ki, yaşadığı evlərdə radonun yüksək konsentrasiyası hesabına şüalanmaya məruz qalan insanların sayı heç də az deyildir.

Heç kimə sirr deyil ki, radon qazı, digər təbii radiasiya mənbələri ilə müqayisədə, daha yüksək çəki əmsalına malikdir.

ARTEK -in hesablamalarına görə radon özünün radioaktiv parçalanma məhsulları ilə birlikdə əhalinin Yer mənşəli radiasiya mənbələrindən aldığı illik individual effektiv ekvivalent şüalanma dozasının $\frac{3}{4}$ hissəsini təşkil edir. Bu, bütün təbii radiasiya mənbələrinin yaratdığı şüalanmanın təxminən yarısına bərabərdir. Bu dozanın böyük hissəsini insan əsasən havası dəyişdirilməyən otaq havası ilə nəfəs alarkən orqanizmə daxil olan radionuklidlərdən alır (*HKДAP OOH, 1982*).

Təqribi hesablamalar insanın nəfəs yollarına sutka ərzində *20 milyon* -a qədər radon atomlarının daxil olmasını göstərir. Yüksək su təhizatı olan hallarda isə canlı toxumaları məhv edə bilən bu zərrəciklərin sayı milyarda çata bilər.

Dediklərimiz radon probleminin kifayət qədər ciddi problem olması fikrini söyləməyə əsas verir və bu qazın (həm də onun parçalanma məhsullarının) insan orqanizmi üçün ciddi fəsadlar törədə biləcəyinə heç bir şübhə yaratmır.

Radonun və onun parçalanma məhsullarının bioloji təsirinə dair məlumatlarla sonrakı Fəsilərdə tanış olacağıq.

5.2.3. Daxili şüalanmada ayrı - ayrı radionuklidlərin payı. Artıq qeyd etdiyimiz kimi, daxili şüalanma dedikdə, insan orqanizminə nəfəsalma, qida – su qəbulu və dəri örtüyünün zədələnməsi nəticəsində daxil olan radioaktiv elementlərin yaratdığı şüalanma başa düşülür. Atom bombalarının partladılması (həm də onların sınaqlarının keçirilməsi) və AES-lərin nüvə reaktorlarında qəzalar radionuklidlərin insan orqanizminə nəfəs yolları ilə daxil olmasının ən ehtimallı yollarıdır.

Qeyd edək ki, təbii radiasiya mənbələrindən insanın aldığı effektiv şüalanma dozasının təxminən *60-70%* -i (orta hesabla $\frac{2}{3}$ hissəsi) orqanizmə qida, su və hava vasitəsilə daxil olur. Bu dozanın çox az hissəsi kosmik radiasiyanın təsiri ilə yaranan karbon-14 və tritium kimi radioaktiv izotopların, əksər hissəsi isə Yer mənşəli radioaktiv elementlətin payına düşür.

İnsanlar ildə orta hesabla *180 mkZv* dozanı, demək olar ki, bütün qida məhsullarının tərkibində olan yalnız kalium - 40 izotopunun hesabına alır (cədvəl 5.29). Bu izotop orqanizmə onun həyat fəaliyyəti üçün zəruri olan kaliumun radioaktiv

olmayan izotopu ilə birlikdə daxil olur. Nəzərə alsaq ki, $K - 40$ izotopu insanın cinsiyyət vəzilərində toplanmaq və orqanizmində müxtəlif mutasiyalar yaratmaq qabiliyyətinə malikdir, onda bu izotopun xüsusi əhəmiyyət kəsb etməsi danılmazdır.

Cədvəl 5.29.

Radioaktiv kalium – 40 izotopunun qida məhsullarında miqdarı

Qida məhsulu	Kalium-40 izotopunun miqdarı, mkaq/kq	Qida məhsulu	Kalium-40 izotopunun miqdarı, mkaq/kq
<i>Çovdar çörəyi</i>	2420	<i>Donuz yağı</i>	1690
<i>Makaron</i>	1300	<i>Balıq</i>	2620
<i>Qarabaşaq yarması</i>	1300	<i>Qurudulmuş meyvə</i>	3000
<i>Düyü</i>	700	<i>Kartof</i>	4490
<i>Noxud</i>	9070	<i>Kələm</i>	3300
<i>Buğda unu (əla növ)</i>	860	<i>Şəkər çuğunduru</i>	3530
<i>Təzə sağılmış süd</i>	1430	<i>Yer kökü</i>	2870
<i>Kərə yağı</i>	140	<i>Soğan</i>	1510
<i>Kəsmik</i>	3720	<i>Şokolad</i>	5630
<i>Pendir</i>	890	<i>Kakao</i>	11110
<i>Mal əti</i>	3380		

Daxili şüalanma dozasının çox hissəsini uran - 238 sırası radionuklidləri, az hissəsini isə torium - 232 sırası radionuklidləri yaradır. Bunlardan bəziləri, məsələn, qurğuşun - 210 və polonium - 210 izotopları orqanizmə qida vasitəsilə daxil olur. Bu radionuklidlər balıq və molyuskalarda daha çox toplanma bildiyindən bu məhsullardan çox istifadə edən insanlar daha yüksək daxili şüalanmaya məruz qalırlar.

Uzaq şimalda on minlərlə insanın qida rasionunun tərkib hissəsini yuxarıda adı çəkilən hər iki izotopun konsentrasiyasının kifayət qədər yüksək olduğu maral əti təşkil edir. Bu izotoplar maralların orqanizminə qışda, onlar şibyə ilə qidalanan zaman daxil olurlar. Bu hallarda maral əti ilə qidalanan insanların orqanizmində polonium - 210 izotopunun yaratdığı daxili şüalanma orta şüalanma səviyyəsindən 35 dəfəyə qədər çox olur.

Yerin digər yarımkürəsində, Qərbi Avstraliyanın uranla zəngin ərazilərində yaşayan insanlar əsasən qoyun və kenquri əti ilə və bu heyvanların icalatı ilə qidalandığından, onlar, orta səviyyə ilə müqayisədə, ~ 75 dəfə çox şüalanma dozası qəbul edirlər.

Orqanizmə daxil olan Pb^{210} və Po^{210} izotoplarının təxminən 70% - nin skeletdə toplanmasına və siqaret çəkən insanların ağ ciyərində Po^{210} izotopunun konsentrasiyasının, siqaret çəkməyənlərlə müqayisədə, 3 dəfə çox olmasına dair məlumatlar vardır.

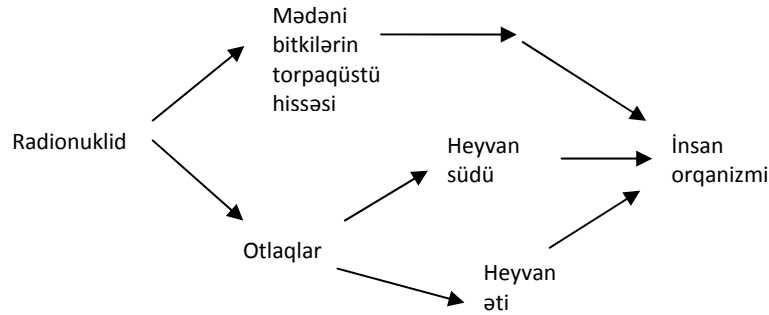
70 kq kütləli yaşa dolmuş insan orqanizmində orta hesabla $7 \cdot 10^{-4} q U^{238}$, $5 \cdot 10^{-6} q U^{235}$, $7 \cdot 10^{-9} q Th^{232}$, $2.5 \cdot 10^{-10} q$ isə Ra^{226} izotopu və cüzi miqdarda C^{14} , Po^{210} və s. izotopları olur. Bu izotoplar fasiləsiz olaraq orqanizmə daxil olmaqla yanaşı, həm də qismən onu tərk edir. Buna görə də yeyinti məhsullarında, suda və havada uzun yaşama müddətli təbii radionuklidlərin miqdarının çox olması orqanizmdə formalaşmış tarazlığı poza bilir (*Радиация. Дозы, эффекты, риск, 1988*).

Qeyd edək ki, bütün mümkün daxili şüalanma yollarından ən təhlükəlisi "çirкли" hava ilə nəfəs almaqdır. Birincisi, ona görə ki, orta ağırlıqlı işlə məşğul olan yaşlı insan gün ərzində $\sim 20 m^3$ hava udur (içdiyi su isə cəmi 2ℓ - dir). İkincisi, ona görə ki, insan orqanizminə nəfəs yolu ilə daxil olan radioaktiv maddələr orqanizm tərəfindən sürətlə mənimsənilir.

Nəfəsalma zamanı radioaktiv toz zərrəcikləri, qismən də olsa, ağız boşluğuna və burun çəpərlərinə çökərək, asanlıqla mədəyə daxil ola bilər. Aerozolların ağ ciyərdə yığılması isə toz zərrəciklərinin ölçülərindən asılı olur. Ölçüləri 1mm - dən böyük olan daha iri zərrəciklər yuxarı nəfəs yollarında ilişib qalır və əsasən hayxırılıb tüpürülməklə orqanizmdən kənarlaşdırılır.

Kiçik ölçülü zərrəciklərin 70 % - ə qədəri isə ağ ciyərdə toplanır.

Radioaktiv maddələr orqanizmə düşməmişdən əvvəl ətraf mühitdə mürəkkəb marşrut üzrə hərəkət edirlər (şəkil 5.17) ki, bu da şüalanma dozasının qiymətləndirilməsi zamanı mütləq nəzərə alınmalıdır.



Şəkil 5.17. Radioaktiv maddələrin orqanizmə düşənə qədər ətraf mühitdə hərəkət marşrutu.

Radionuklidlərin eyni bir konsentrasiyasında daxili şüalanma, xarici şüalanma ilə müqayisədə, dəfələrlə təhlükəli olur. Bu, daxili şüalanma halında toxumaların şüalanma vaxtının daha böyük olması ilə əlaqədardır. Aydın ki, bu vaxt radiasiya mənbələrinin orqanizmdə qalma müddəti ilə müəyyən edilir. Məsələn, radium - 226 və plutonium - 239 kimi daha qorxulu radionuklidlər orqanizmi, demək olar ki, tərk etmirlər və insanın bütün ömrü boyu onun üçün şüalanma mənbəyi rolunu oynayır.

Daxili şüalanmanın daha dramatik hal olmasına digər səbəb radionuklidlərin müxtəlif toxumalarda bərabər paylanmamasıdır. Belə ki, ayrı-ayrı orqanlar

radionuklidlərə müxtəlif həssaslıq göstərməklə, onları selektiv toplaya bilir və bununla da lokal şüalanma yarada bilir.

Radon yüksək həllolma qabiliyyətinə malikdir. Belə ki, 0-30^oS temperatur intervalında onun suda konsentrasiyasının havada konsentrasiyasına nisbəti 0.5 – 0.2 - yə bərabər olur. Bu səbəbdən də Yer suxurlarında və torpaqda yaranan radon asanlıqla atmosferin yerüstü təbəqəsinə və yeraltı su mənbələrinə daxil ola bilir. Son nəticədə isə torpaq mikroflorası, bitkilərin kök sistemləri, yerüstü flora və fauna 5.49 MeV - ə bərabər yüksək enerjili α - şüalanmanın təsirinə məruz qalır.

Radon və onun parçalanma məhsulları insan orqanizminə nəfəs yolları vasitəsilə daxil olur və orqanizmin α - zərrəciklərlə daxili şüalanmasını yaradır.

Cədvəl 5.30 - da normal radiasiya fonuna malik ərazilər üçün uran və torium sırası komponentlərin hər nəfərə düşən illik effektiv doza qiymətləri göstərilmişdir.

Cədvəl 5.30.

Normal radiasiya fonuna malik ərazilər üçün uran və torium sırası komponentlərin hər nəfərə düşən illik effektiv doza qiymətləri

Şüalanma mənbəyi	İllik effektiv doza, mkZv		
	Xarici şüalanma	Daxili şüalanma	Cəmi
Uran - 238 sırası $^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{U}$ ^{230}Th ^{226}Ra $^{222}\text{Rn} \rightarrow ^{214}\text{Po}$ $^{210}\text{Pb} \rightarrow ^{210}\text{Po}$	90	10 7 7 800 130	1044
Torium - 232 sırası ^{232}Th $^{228}\text{Ra} \rightarrow ^{224}\text{Ra}$ $^{220}\text{Rn} \rightarrow ^{208}\text{Tl}$	140	3 13 170	326
Cəmi	230	1140	1370

Cədvəldə göstərilən qiymətlərdən aydın olur ki, təbii mənbələrin yaratdığı daxili şüalanma dozasına ən çox " töhvəni " radonun parçalanma məhsulları verir. Başqa sözlə desək, Rn^{222} izotopunun parçalanması 800 mkZv, Pb^{210} izotopunun parçalanması 130 mkZv, Rn^{220} izotopunun parçalanması isə 170 mkZv şüalanma dozası yaradır. Bunlar da, artıq qeyd etdiyimiz kimi, kosmogen və primordial nuklidlərin yaratdığı 1341 mkZv - ə bərabər ümumi daxili şüalanma dozasının 83 % - ni təşkil edir.

Havadan 7.5 dəfə ağır olan radon qazı suda, qanda və limfada yaxşı həll olur (qaynama temperaturu 65^oS-dir). Bu səbəbdən də onun insan bədəninin vahid həcminə düşən miqdarı havadakı miqdarının ~ 50 % - ni təşkil edir.

Radon problemi neft - qaz və başqa faydalı qazıntı yataqlarına malik Respublikamız üçün də çox vacib problemdir və ona layiqincə diqqət yetirilməməsi təəssüf doğurur. Yalnız 2010-2011-ci illərdə, ilk dəfə olaraq, Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Geologiya İnstitutunun əməkdaşları Cənubi İsveçrənin Radon Mərkəzinin və Tətbiqi Elmlər Universitetinin əməkdaşları ilə birlikdə Respublikamızın ayrı-ayrı ərazilərində yaşayış binalarında və istehsalat müəssisələrində radonun konsentrasiyasının təyininə dair təcrübələr aparmışlar. Bu tədqiqatlar İsveçrə Milli Elm Fondunun maliyyə dəstəyi ilə qrant layihəsi əsasında aparılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, radonun konsentrasiyası çox geniş intervalda ($0.32 \text{ Bk} / \text{m}^3$ -dən $1109.02 \text{ Bk} / \text{m}^3$ -ə qədər) dəyişir (Алиев Ч.С. и др., 2012).

Alınmış nəticələrin əsasında radonun həcmi aktivliyinin və anomal konsentrasiyaya malik yerlərin xəritəsi tərtib edilmişdir (Алиев Ч.С. и др., 2012). Bu xəritələr, uyğun olaraq, şəkil 5.18 - də və şəkil 5.19 - da göstərilmişdir.

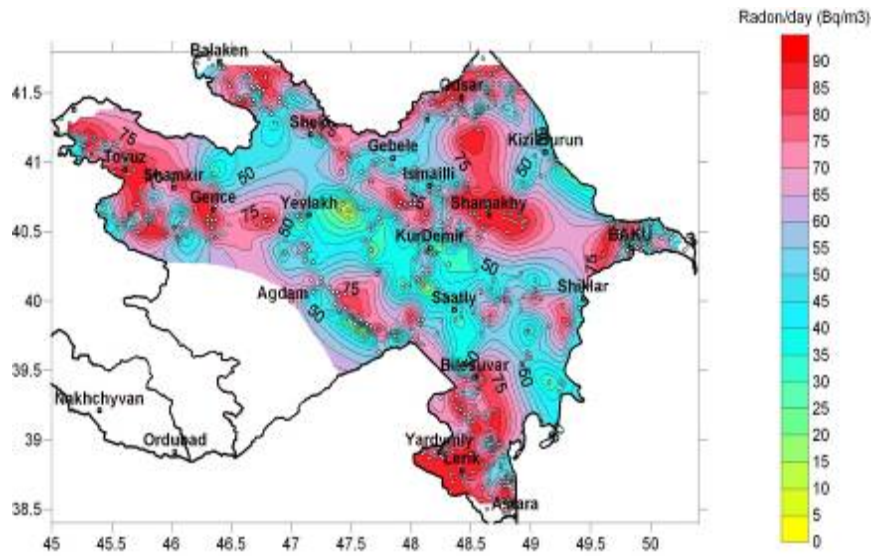


Рис. 5.18. Azərbaycanın ərazisində radonun həcmi aktivliyinin paylanma xəritəsi.

Xəritələrin təhlilindən aydın olur ki, Talyşın və Böyük Qafqazın dağ massivləri daha yüksək radon konsentrasiyası ilə xarakterizə olunduğu halda, ovalıq ərazilərdə bu qazın konsentrasiyası nisbətən aşağı olur.

Cədvəl 5.31 –də Respublikamızda müxtəlif tikinti materiallarından istifadə edilməklə tikilmiş binalarda radonun konsentrasiyasına dair göstəricilər əks olunmuşdur (Алиев Ч.С. и др., 2012).

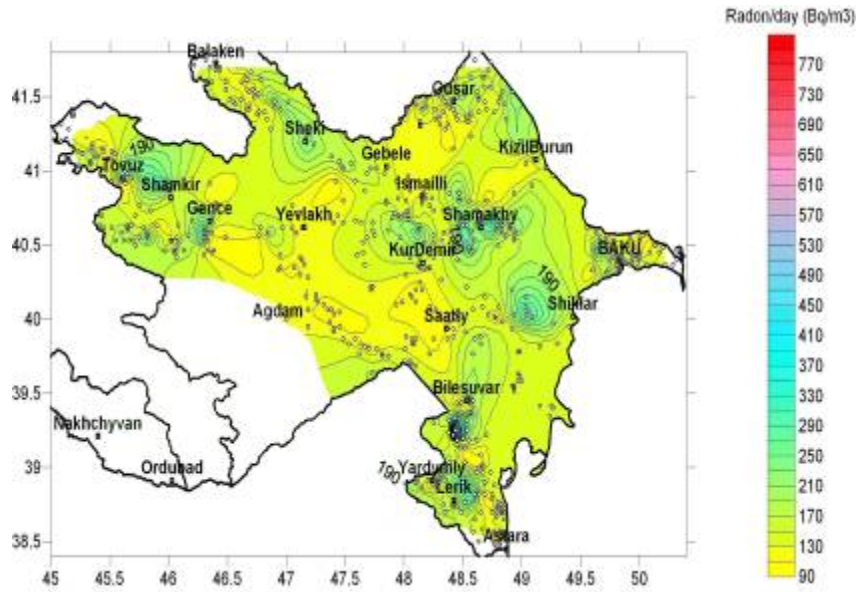


Рис. 5.19. Azərbaycanın ərazisində radonun anomal konsentrasiyalı yerlərinin xəritəsi.

Сәdvәл 5.31.

Müxtәlif tikinti materiallarından istifadə edilmәklә tikilmiş binalarda radonun konsentrasiyası.

Tikinti materialı	Binada radonun konsentrasiyası, Bq/m^3			
	maksimal	minimal	orta ədədi	orta
<i>Ağac</i>	215.56	13.69	70.55	46.82
<i>Çay daşı</i>	833.92	0.32	99.63	73.12
<i>Təbii daş</i>	328.01	51.86	114.38	103.50
<i>Kubuk daşı (əhəngdaşı)</i>	1014.29	0.32	79.00	54.46
<i>Beton</i>	253.02	13.32	52.04	36.95
<i>Kərpic</i>	1109.02	5.59	94.50	61.74
<i>Yonulmuş daş</i>	664.02	19.76	189.95	97.04
<i>Samanlı kərpic (çiy kərpic)</i>	795.72	0.32	88.76	64.81

Cәdvәldән göründüyü kimi, əhəng daşı, bişmiş kərpic və çiy kərpicdən tikilmiş binalarda radonun konsentrasiyası kifayət qədər yüksək olur. Ağac və beton evlər isə radonun konsentrasiyası baxımından qənaətbəxş hesab oluna bilər.

Cədvəl 5.32 -də isə eyni binanın müxtəlif mərtəbələrində radonun konsentrasiyasına dair müəlliflərin aldığı nəticələr göstərilmişdir (Aruv 4.C. u əp., 2012).

Cədvəl 5.32.

Eyni binanın müxtəlif mərtəbələrində radonun konsentrasiyası.

Mərtəbə	Radonun konsentrasiyası, Bk/m ³			
	maksimal	minimal	orta ədədi	orta
-1	175,86	28,65	61,51	38,41
1	1109,02	0,32	90,24	62,20
2	546,96	0,71	68,96	51,97
3	68,24	0,32	24,87	23,99
4	44,83	0,32	23,50	23,20
	19,30	19,30	19,30	19,30

Qeyd: Respublikamız üçün radonun yol verilən konsentrasiya həddi 200 Bk/m³-dir (Aruv 4.C. u əp., 2012).

TEXNOGEN (ANTROPOGEN) MƏNŞƏLİ RADİASIYA MƏNBƏLƏRİ

Bu gün təbii radiasiya fonu yaradan şüalar sırasına insanın əməli fəaliyyətinin məhsulu olan süni – antropogen şüalanma da daxil olmuşdur.

Qeyd edək ki, radioaktiv ölçmə işlərinin nəticələri atom enerjisindən hərbi və dinc məqsədlər üçün istifadənin yaratdığı süni şüalanmanın insanları məruz qaldığı ümumi şüalanmanın 2 - 3 % - ni təşkil etməsini göstərir. Göründüyü kimi, bu rəqəm kifayət qədər kiçik rəqəmdir. Nəzərə alsaq ki, bu rəqəm süni şüalanmanın Yer üzünün ümumi həcminə görə hesablanmış orta qiymətdir, onda konkret ərazi üçün süni şüalanma həddinin kifayət qədər yüksək ola bilməsi fikrini söyləmək mümkündür. Məsələn, fəaliyyətdə olan ayrı-ayrı reaktorların və sürətləndiricilərin ərazilərində (o cümlədən də, Çernobil zonasında) işləyən personal üçün radiasiya yükü kifayət qədər yüksək olur.

Bu məsələdə narahatlıq doğuran amillərdən biri də antropogen radioaktivliyin payının günbəgün artmasıdır. Aydın ki, bu artma tendensiyası müəyyən bir anda real təhlükə mənbəyinin yaranması ilə nəticələnə bilər. Burada əhəmiyyətli bir fakt da yaddan çıxarmaq olmaz. Belə ki, sonuncu onilliklərdə insanın əməli fəaliyyəti təbii radionuklidlərin ətraf mühətdə yenidən paylanmasına səbəb olmuşdur. Bu fəaliyyətə faydalı qazıntıların çıxarılması və emalı, üzvi yanacaqlardan və müxtəlif gübrələrdən istifadə, tikinti materiallarının istehsalı və istifadəsi, texnoloji tullantılarla rəftar və s. daxildir. Bundan başqa, XX əsrin sonuncu onillikləri ərzində insanın həyata keçirdiyi nüvə reaksiyaları hesabına təbiətdə mövcud olmayan yüzlərlə yeni süni radionuklidlər əldə etmək mümkün olmuşdur ki, onlardan da müxtəlif məqsədlər üçün təbabətdə, enerji istehsalında, atom silahlarının yaradılmasında, elmi - tədqiqat işlərində, sənayedə, kənd təsərrüfatında, faydalı qazıntı yataqlarının axtarışında, yanğınların yerlərinin müəyyənləşdirilməsində, saatlara işıqsaçan sferblatların quraşdırılmasında və s. geniş istifadə edilməyə başlanmışdır. Bütün bunlar isə, həm ayrı - ayrı insanların, həm də bütövlükdə Yer kürəsi əhalisinin məruz qaldığı şüalanma dozalarının artmasına səbəb olmuşdur. Qətiyyətlə demək olar ki, bu gün süni radionuklidlər biosferin ayrılmaz komponentinə çevrilmişlər.

Dediklərimizdən aydın olur ki, Yerdə həyat radiasiya fonunun texnoloji dəyişməsinin təsiri altında inkişaf edir. Əksər hallarda bu dozanın kiçik olmasına baxmayaraq, bəzi hallarda onların yaratdığı şüalanma təbii şüalanma mənbələrinin şüalanmasından bir neçə min dəfə yüksək ola bilər. Bu səbəbdən də, ayrı - ayrı insanların süni radiasiya mənbələrindən aldığı fərdi dozalar da kəskin fərqlənə bilər.

Bir qayda olaraq, təbii mənbələrlə müqayisədə süni radiasiya mənbələrinin variabelliği daha aydın formada özünü göstərir. Bundan başqa, nüvə partlayışları ilə bağlı şüalanmanı çıxmaq şərti ilə, süni radiasiya mənbələrinin yaratdığı şüalanmanı

daha asan formada nəzarətdə saxlamaq mümkündür. Qeyd edək ki, kosmik və ya yer mənşəli şüalanmalar nəzarətdə saxlanıla bilməyən şüalanmalardır.

6.1. Peşə fəaliyyəti ilə bağlı şüalanma mənbələri.

İnsanın əməli fəaliyyəti çoxlu sayda süni radiasiya mənbələrinin yaradılmasına səbəb olmuşdur. Bunlara misal olaraq, yüklü zərrəciklər sürətləndiricilərini, plazmatronları, implantatorları, nüvə reaktorlarını, rentgen aparatlarını göstərmək olar. Elmdə, texnikada, təbabətdə istifadə olunan həm neytron, həm də müxtəlif radionuklid mənbələrini də bu qəbildən olan mənbələrə aid etmək olar. Uranın zənginləşdirməsi ilə məşğul olan zavodların tullantıları, istifadəyə yaramayan uran mənbələri də ionlaşdırıcı şüalanma yarıdan mənbələr sırasına daxildir.

Bir çox iri şəhərlərin radioekoloji vəziyyətinin öyrənilməsi radioaktiv çirklənmə səviyyəsi əhəmiyyətli dərəcədə yüksək olan minlərlə lokal ərazilərin mövcudluğunu aşkar etdi. Bu cür "radioaktiv zibilliklər" germetik izotop mənbələrin, maye və toz-ovuntu formasında olan radioaktiv maddələrin, tərkibinə ionlaşdırıcı şüalanma mənbələri daxil edilmiş müxtəlif cihaz hissələrinin zibilliklərə atılması və ya onların itməsi nəticəsində yaranır.

Qeyd edək ki, kosmik aparatların qəzaya uğraması nəticəsində enerji mənbəyi kimi istifadə olunan bort reaktorlarının ayrı - ayrı hissələri (o cümlədən də, radioaktiv mənbələrin hissələri) müxtəlif ərazilərə səpələnir ki, bunlar da, öz növbəsində, yeni ionlaşdırıcı şüalanma mənbəyi rolunu oynayır. Qlobal miqyasda isə ətraf mühitin radioaktiv çirklənməyə məruz qalmasında rekord yeri atom - nüvə silahlarının yerüstü və yeraltı sınaqlarının keçirilməsi tutur.

İnsanlara, onların sağlamlığına təsir edə bilən süni şüalanma mənbələrini ümumiləşdirməklə, onları aşağıdakı kateqoriyalara bölmək olar:

- 1) İnsanların məskunlaşma mühitinin süni şüalanma mənbələri;
- 2) Atom sənayesi müəssisələrinin və atom elektrik stansiyalarının radioaktiv tullantılarının yaratdığı çirklənmə mənbələri;
- 3) Atom-nüvə partlayışları zamanı yaranan radioaktiv maddələrin qlobal çöküntülərinin yaratdığı mənbələr.

Burada belə bir faktı qeyd etmək yerinə düşərdi. Belə ki, süni ionlaşdırıcı şüalanmanın təsiri öyrənilərkən professional şüalanmanı (insanların peşə fəaliyyətləri ilə bağlı şüalanmalarını) əhalinin ümumi şüalanmasından ayırmaq çox vacibdir. Bu səbəbdən də təsirlərin müxtəlifliyini nəzərə alaraq, biz aşağıda əsasən nüvə enerjisi istehsalının istilik - nüvə tsiklinin müxtəlif mərhələlərində və nüvə partlayışlarında ətraf mühitin radioaktiv çirklənməsinin yaratdığı professional şüalanmalar üzərində dayanacağıq.

Atom sənayesi obyektləri, artıq qeyd etdiyimiz kimi, potensial şüalanma mənbələri sırasına daxildir. Bu obyektlərdə ən çox şüalanma dozasını həmin obyektlərdə işləyən insanlar alır. Şüalanma dozasının bu növü insanların məruz qaldığı bütün şüalanma dozalarının ən böyüyüdür.

Qeyd edək ki, peşə fəaliyyətindən alınan dozanı iki müxtəlif səbəbə görə qiymətləndirmək çox çətinidir. Bu səbəblərdən birincisi iş şəraitlərinin kəskin fərqlənməsi, ikincisi isə tələb olunan informasiyanın olmamasıdır.

Şüalanmanın növləri kimi nüvə reaktorlarına xidmət edən personalın aldığı doza da kəskin fərqlənə bilər. Dozimetrik cihazlar isə çox nadir hallarda şüalanmaya dair dəqiq məlumat verə bilər. Belə ki, bu cihazlar yalnız işçi personalın şüalanmasının yolverilən həddi aşmamasına nəzarət etmək üçün nəzərdə tutulub. ARTEK - in təxmini qiymətləndirməsinə əsasən uran yataqlarının özündə və onun zənginləşdirilməsini həyata keçirən fabriklərdə işləyən personalın aldığı şüalanma hər *Qiqavatt - il* elektrik enerjisi üçün orta hesabla *1 insan - Zv* təşkil edir. Bu dozanın təxminən *90 %* - i yataqların payına düşür. Buna görə də şaxtalarda işləyən personal ən çox şüalanmaya məruz qalır (*HKQAP OOH, 1982*).

Nüvə yanacağı istehsal olunan zavodlardan alınan kollektiv ekvivalent doza da hər *Qiqavatt – il* elektrik enerjisi üçün təxminən *1 insan - Zv* təşkil edir (*HKQAP OOH, 1982*).

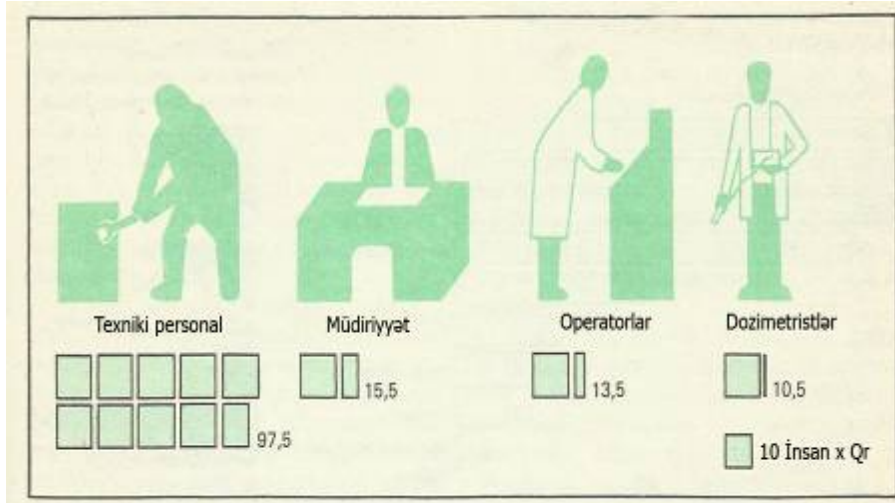
Cədvəl 6.1. -də istilik - nüvə tsiklinin müxtəlif mərhələlərində işçi personalın və yaxın ərazidə yaşayan əhəlinin aldıkları şüalanma dozaları göstərilmişdir. Rəqəmlər gözlənilən kollektiv effektiv ekvivalent dozanın istehsal olunan hər *Qiqavatt - il* elektrik enerjisi üçün *insan - Zv* -lərlə tipik qiymətlərini əks etdirir.

Cədvəl 6.1.

İstilik - nüvə tsiklinin müxtəlif mərhələlərində işçi personalın və yaxın ərazidə yaşayan əhəlinin aldıkları şüalanma dozaları (*HKQAP, 1982*)

	Nüvə yanacağı- nın çıxarıl- ması	Nüvə yanacağı- nın zənginləş- dirilməsi	İstilikayırıcı elementlə- rin hazırlan- ması	Reaktorla- rın işləməsi	Nüvə yanacağı- nın regenera- siyası	Radioaktiv tullantıla- rın basdırıl- ması
<i>İşçi personal</i>	0.9	0.1	1	10	10	-
<i>Əhəli</i>	0.5	0.04	0.0002	4	1	-

Aydındır ki, müxtəlif xarakterli işləri görən işçilərin aldıkları dozalar da eyni olmayacaq. Cari və planlaşdırılmamış təmir işləri zamanı işçilər çox böyük şüalanma dozası qəbul edirlər. Məsələn, ABŞ-da istismar edilən reaktorlardan personal bu xarakterli işlər zamanı şüalanmanın *~70 %* - ni qəbul edir (*HKQAP OOH, 1982*) (şəkil 6.1.).



Şəkil 6.1. Nüvə reaktorlarında müxtəlif xarakterli işlər görən personalın aldıkları dozalar.

ARTEK - in araşdırmaları Uindskeyl və La - Aqa zənginləşdirmə fabriklərinin işçi heyətinin daha çox şüalanmaya məruz qalmasını göstərir. Hesablamalar 70 - ci illərdə hər *Qiqavatt - il* enerji üçün Uindskeyl fabrikində orta illik kollektiv dozanın 18, La – Aqa fabrikində isə 6 *insan - Zv* olduğunu göstərmişdir (HҚДАР ООН, 1977).

Yeni müasir zənginləşdirmə zavodlarında bu doza nisbətən kiçikdir və ARTEK - in hesablamalarına əsasən bu rəqəm yaxın gələcəkdə 10 *insan - Zv* həddini aşmayacaq (HҚДАР ООН, 1977).

Peşə fəaliyyəti ilə əlaqədar alınan şüalanma dozasının bir qismi də nüvə fizikası və energetikası sahələrində çalışan elmi-tədqiqat işçilərinin payına düşür. Bu qəbildən olan şüalanma da, həm müxtəlif ölkələrdə, həm də müxtəlif müəssisələrdə bir-birindən xeyli fərqlənir. Bu fərq bəzi hallarda 10 dəfəyə qədər ola bilər. Bütün ölkələr üzrə hər *Qiqavatt - il* enerji üçün kollektiv dozanın orta qiyməti ~ 5 *insan - Zv* -ə bərabər olur (HҚДАР ООН, 1982).

Peşə fəaliyyəti ilə bağlı şüalanmanı təkcə atom sənayesi müəssisələrinin fəhlələri almır. Adi müəssisələrin fəhlələri və tibbi personal da müəyyən dozada şüalanmaya məruz qalırlar.

Radioloji müayinə ilə məşğul olan tibbi personal yüksək tibbi xidmətə malik ölkələrdə əhalinin kollektiv ekvivalent dozasına hər milyon sakin üçün 1 *insan - Zv* qədər töhvə verir.

Yüksək sənaye potensialına malik ölkələrin adi sənaye müəssisələrində personalın şüalanması, əlavə olaraq, illik kollektiv dozaya 0.5 *insan - Zv* qədər pay verir (HҚДАР ООН, 1982).

Bir qrup insanlar, həm də yüksək təbii radiasiyanın təsirinə məruz qalırlar. Bu qrup insanlara təyyarə ekipajını misal göstərmək olar. Ekipajın kosmik şüalanmanın təsirinə məruz qalmasının səbəbi uçuşların böyük yüksəkliklərdə keçirilməsidir. Misal olaraq, göstərmək olar ki, ABŞ - da təxminən 70000, Böyük Britaniyada isə 20000 ekipaj, əlavə olaraq, hər il 1-2 mZv şüalanma dozası qəbul edir (HƏDAP OOH, 1977).

Yerdən daş kömür, dəmir filizi və s. kimi faydalı qazıntılar çıxaran şaxtaçıların da yüksək şüalanma dozası qəbul etmələri məlumdur. Ayrı-ayrı şaxtalarda şüalanma dozasının fərqlənməsinə və yeraltı işlərin xarakterindən asılı olaraq, bu dozanın, bəzi hallarda uran yatağının yaratdığı dozadan da yüksək olmasına dair də məlumatlar mövcuddur.

Daha yüksək dozaları (ildə 300 mZv -dən çox) müalicə məqsədi ilə kurortlarda radon vannası qəbul edən personal qəbul edir. Qeyd edək ki, bu doza atom sənayesi işçiləri üçün qəbul olunmuş beynəlxalq standartdan təxminən 6 dəfə çoxdur (HƏDAP OOH, 1977).

6.1.1. Atom enerjisindən dinc məqsədlər üçün istifadə ilə bağlı şüalanma mənbələri.

İstilik-nüvə tsiklinin müxtəlif mərhələlərində professional şüalanma. Əvvəlcə qeyd edək ki, nüvə enerjisi istehsalında professional şüalanma kömürlə işləyən elektrik stansiyalarında elektrik enerjisi istehsalı zamanı yaranan şüalanma ilə müqayisədə iki tərtib çox olur. Adı çəkilən istehsal sahəsinin müxtəlif mərhələlərində şüalanma səviyyələrini müqayisə etmək üçün kollektiv dozaları zənginləşmiş uran vasitəsilə istehsal edilən vahid enerjiyə görə normalaşdırmaq qəbul edilmişdir. Normalaşma bir ildə istehsal olunan hər *Meqavatt* elektrik enerjisində görə aparılır.

Baxılan tsiklin ilkin mərhələlərində (uran filizinin çıxarılması, onun emalı, nüvə yanacağıının hazırlanması və daşınması mərhələlərində) kollektiv doza, adətən, nisbətən kiçik olur (cədvəl 6.2).

Buna baxmayaraq, uran filizi çıxarılan mədən və karxanalarda, onun zənginləşdirilməsi və nüvə yanacağıının hazırlanması ilə məşğul olan müəssisələrdə kiçik bir ehtiyatsızlıq nəticəsində insan sağlamlığına ciddi zərər verə bilən şüalanma dozası yarana bilər. Deyilənləri nəzərə alaraq, bu məsələ üzərində ətraflı dayanmaq.

Bildiyimiz kimi, uran nüvələrinin şüalandırdığı α -zərrəciklərin yaratdığı xarici şüalanma, radioaktiv təsir baxımından, çox da təhlükəli deyil. Uran və onun müxtəlif birləşmələrinin orqanizmə daxil olmasına gəldikdə isə, bu, tək-cə radioaktiv təsir baxımından deyil, həm də kimyəvi təsir baxımından kifayət qədər təhlükəlidir. Buna səbəb uranın kifayət qədər yüksək toksiki xassəli, suda yaxşı həll oluna bilən dayanıqlı birləşmələr yarada bilməsidir. Bu formada birləşmələrə misal olaraq, uran - heksafluorid kimi kimyəvi aktiv maddəni göstərmək olar. Adı çəkilən birləşmə havada su buxarının iştirakı ilə asanlıqla hidroliz prosesinə uğrayır ki, bunun da nəticəsində uranilfluoridin yüksək toksiki xassəli, kiçik dispersli (ölçülü) aerozolları yaranır. Aerozolların və həmçinin də uran tozunun orqanizmə daxil olması onların ağciyərdə, böyrəklərdə, qaraciyərdə və sümüklərdə toplanmasına səbəb olur. Uran və onun

İstilik-nüvə tsiklinin müxtəlif mərhələlərində professional şüalanma səviyyəsi (HKQDAP, 1982).

İstilik-nüvə tsiklinin mərhələləri	İstehsal olunan vahid enerjiyə uyğun kollektiv doza, $insan \cdot Qr / MBt \cdot il$
<i>Uran yanacağıının çıxarılması</i>	0.0005
<i>Filizin işlənməsi və nüvə yanacağıının hazırlanması</i>	0.0015
<i>Şüalanmamış nüvə yanacağıının daşınması</i>	$3 \cdot 10^{-6}$
<i>Energetik nüvə reaktorlarının istismarı</i>	$1.0 \cdot 10^{-2}$
<i>Nüvə yanacağıının işlənməsi</i>	$1.2 \cdot 10^{-2}$
<i>Şüalanmış nüvə yanacağıının daşınması</i>	$2.0 \cdot 10^{-5}$
<i>Bərk tullantıların daşınması</i>	10^{-5}
<i>Elmi tədqiqatlar</i>	$1.4 \cdot 10^{-2}$
<i>Bütövlükdə istilik-nüvə tsikli</i>	$3.8 \cdot 10^{-2}$

birlişmələrinin orqanizmdə toplanması son nəticədə müxtəlif mənşəli onkoloji ağırlaşmalar yaradır.

Energetik nüvə reaksiyalarının istismarı və nüvə yanacağıının emalı mərhələlərində kollektiv doza, adətən, yüksək ($2.2 \cdot 10^{-2} insan \cdot Qr / MVt \cdot il$ – həddində) olur. Bu prosesdə nisbətən yüksək şüalanmaya ($1.4 \cdot 10^{-2} insan \cdot Qr / MVt \cdot il$ qədər) həmçinin də elmi və konstruktor tədqiqatları apararı şəxslər məruz qalırlar (HKQDAP OOH, 1977).

Nüvə enerjisinin istehsalı zamanı ətraf mühitin radioaktiv çirklənməsi. Nüvə energetikası bir çox ölkələrdə çox böyük sürətlə inkişaf edir. Bunun sübutu olaraq, qeyd edək ki, əgər 1979 - cu ildə AES - lərdə elektrik enerjisi istehsalı 120 QVt təşkil edirdisə, bu rəqəm XXI əsrin əvvəllərində 2000 QVt -a qədər artmalıdır (HKQDAP OOH, 1982).

Əhalinin nüvə enerjisi istehsalı ilə bağlı məruz qaldığı əlavə şüalanmaya dair nəticələr cədvəl 6.3 - də göstərilmişdir (HKQDAP OOH, 1982).

Bu nəticələrdən aydın olur ki, adı çəkilən mənbələrdən alınan kollektiv dozanın 50 % - dən çoxu C^{14} , Kr^{85} , H^3 kimi böyük yarımparçalanma periodlu radionuklidlərin qlobal miqyasda yayılması ilə bağlıdır. Bu radionuklidlər nüvə enerjisinin istehsalı prosesində, energetik nüvə reaktorlarının işləməsi zamanı, nüvə yanacağıının emalı prosesində və s. yaranır. Cədvəldən göründüyü kimi, insan bədəninin ayrı - ayrı orqanlarının $1 MVt \cdot il$ elektrik enerjisi istehsalına normalaşmış məruz qaldığı qlobal kollektiv doza şüalanması $5 \cdot 10^{-2} insan \cdot Qr$ -dən $3 insan \cdot Qr$ - ə qədər dəyişə bilər.

Qeyd edək ki, bu rəqəmlər hesablanarkən energetik nüvə qurğularında qəza nəticəsində radionuklidlərin ətraf mühitə səpələnməsinin kollektiv dozaya verdiyi pay nəzərə alınmamışdır.

İndi də Atom Elektrik Stansiyalarının radiasiya təhlükəsizliyini təmin edə bilən bəzi fiziki - texniki problemlərin həlli üzərində dayanaq. Məlum olduğu kimi, reaktorun

Cədvəl 6.3.

Nüvə yanacağıının işlənməsi və nüvə reaktorlarının istismarı proseslərində əhəlinin qlobal şüalanma dozaları (10^{-2} insan · Qr / MBt · il)

Radiasiya təhlükəsi mənbəyi	Cinsiyyət orqanları	Ağ ciyər	Qalxanvari vəzi	Sümük iliği	Endostal hüceyrələr
3H	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$
^{85}Kr	$9 \cdot 10^{-2}$	$2.5 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-2}$	$1.5 \cdot 10^{-1}$	$1.5 \cdot 10^{-1}$
^{14}C	$9 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-1}$	3.0	3.0
^{129}I	-	-	$5 \cdot 10^{-2}$	-	-
<i>Cəmi</i>	1.09	1.25	1.14	3.25	3.25

aktiv zonasında nüvə bölünmə reaksiyasının stabil, dayanıqlı getməsi çox vacibdir. İkincisi, radiasiya baxımından xüsusi təhlükə doğuran yüksək aktivliyə malik tullantıların ekoloji tələblərə cavab verə bilən formada kənarlaşdırılması və emalı texnologiyalarının işlənilib hazırlanması bu təhlükəsizliyi kifayət qədər təmin etmiş olur. Üçüncü problem bu prosesdə yaranan tritium problemidir.

Birinci problemin xüsusiyyəti zəncirvari nüvə reaksiyalarının dayanması və ya partlayışa gətirə bilən sürətə malik olmaması üçün neytronların artma prosesinin idarə olunmasıdır. Qeyd edək ki, nüvə reaksiyalarının idarə olunmasındakı çətinliklərin kifayət qədər aradan götürülməsinə baxmayaraq, iş rejiminə dəqiq riayət edilməməsi AES - lərdə vaxtaşırı müxtəlif qəzaların baş verməsinə səbəb olur. Belə dəhşətli qəzalar təkcə Çernobil AES - də deyil, ondan əvvəlki dövrlərdə də baş vermiş, bu günki günlərdə də baş verir.

İkinci problemin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, nüvə reaktorunda gedən reaksiya nəticəsində çox yüksək aktivliyə və fəvqəladə radiasiya təsirinə malik tullantılar yaranır ki, bu tullantıları da sistemdən çıxarmaq və uzunmüddətli saxlama yerinə - basdırılmağa göndərmək tələb olunur. Tullantıların böyük əksəriyyəti ~ 300 il -ə parçalanır. Ona görə də tullantıların zərərsizləşdirilməsinin ilkin mərhələsi onların şüəlləndirilməsi (əridilmiş şüşəyə qarışdırılması), sonrakı mərhələsi isə uzun illərə basdırılmasıdır. Tullantıları zərərsizləşdirmək məqsədi ilə radionuklidlərin transmutasiyası üsulundan da istifadə edilir. Bu üsulun mahiyyəti ondan ibarətdir ki, radioaktiv tullantılar bu halda β - zərrəciklər və ya neytronlar seli vasitəsilə bombardman edilir və son nəticədə tullantının tərkibində olan radionuklidlər stabil nuklidlərə çevrilir. Tullantıların uzun müddətə basdırılması üçün isə $600 - 1200$ m dərinlikli, etibarlı izolyasiyalı quyulardan istifadə olunur (Калыгин В.Г., 2000).

Yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi, AES -lərin fəaliyyəti ilə bağlı üçüncü problem tritium problemidir. Belə ki, AES - lərdə yaranan məhsullar içərisində tritium daha çox radiasiya təhlükəsi yarada bilər. Bildiyimiz kimi, suda yaxşı həll oluna bilən tritium kosmik şüaların təsiri ilə atmosferdə yaranır və β -parçalanmaya uğramaqla (yarımparçalanma periodu 12.3 il - dir), He^3 izotopuna çevrilir. Tritium həmçinin

strotosferdə aparılan istilik - nüvə partlayışları zamanı yaranır. Bu gün adı çəkilən partlayışların həyata keçirilməsinə qadağan qoyulduğundan, hal - hazırda tritium yaranmasının yeganə mənbəyi nüvə reaktorlarıdır.

Tritiumun əsas bioloji təhlükə yarada bilməsi onun β -zərrəciklərlə daxili şüalanma yarada bilməsidir. Belə ki, tritium su buxarı vasitəsilə nəfəs orqanlarından, sulu yeməklər vasitəsilə isə qida borusundan asanlıqla orqanizmə daxil ola bilər. Tritiumun dəri vasitəsilə də orqanizmə daxil ola bilməsi mümkündür.

Tritium reaktorun aktiv zonasını soyutmaq üçün istifadə olunan su çənələrində toplanır və buxarlanmaqla yerüstü atmosfərə və yeraltı sulara daxil olur. Kimyəvi "tələlər" də daxil olmaqla, tritiumu tuta bilən effektiv "tələlər" yaratmaq mümkün olmadığından, AES - lərin ətrafında həmişə tritiumun konsentrasiyası yüksək olur.

Çernobil AES - də baş verən məlum qəzadan sonra nüvə enerjisinin inkişafı proqramının əleyhinə kəskin çıxışlar başlandı və mövcud AES - lərin belə ləğv edilməsi tələbi ilə çıxış edən ekoloji hərəkətlər yarandı. Qeyd edək ki, son vaxtlar yeni bir qəzanın da (Fukusima AES - də) baş verməsinə baxmayaraq, bu sual ətrafında ehtiraslar xeyli səngimişdir. Çox yəqin ki, real vəziyyətin qiymətləndirilməsi üçün zamana ehtiyac olmuşdur. Artıq çoxlarına aydın olmuşdur ki, yalnız neft, daş kömür və təbii qaz kimi əsas enerji mənbələrindən istifadə etməklə yaranmış enerji - ekoloji böhrandan çıxmaq mümkün deyildir. Məsələn, məlum olduğu kimi, külli miqdarda oksigenin yanmasını tələb edən adi yanacaq növlərindən istifadə atmosfərdə karbon qazının miqdarının kəskin artmasına səbəb olur. Bu isə böyük ərazilərdə ekoloji tarazlığın pozulmasına, turşu yağışlarının intensivləşməsinə və nəticədə meşələrin məhv olmasına, həşəratların, vəhşi heyvan və balıqların birgə yaşayışını və inkişafını şübhə altına alan şəraitin formalaşmasına zəmin yaradır. Karbon qazının miqdarının verilmiş ərazidə kəskin artması həmçinin də istixana (parnik) effekti adlanan effektin yaranmasına səbəb olur.

Reaktorlarda istifadə olunan nüvə yanacağı üçün isə, məlum olduğu kimi, oksigen tələb olunmur. Bu prosesdə karbon qazı isə cüzi miqdarda yaranır. Həmçinin də AES - lərin normal rejimdə işi kifayət qədər ekoloji təmizliyi təmin edir. Bu zaman istilik və elektrik enerjisi istehsalı, adi yanacaqqla işləyən elektrik stansiyaları ilə müqayisədə, həm də ucuz başa gəlir. Nəhayət, nüvə yanacağı reaktor işləyən zaman yenidən süni yolla artırıla bilən nadir xüsusiyyətə malikdir.

Müasir həyatın tələbi kimi nüvə enerjisinin əhəmiyyəti bu gün danılmazdır. Dünyada istehsal olunan elektrik enerjisinin 20 % - dən çoxu AES - lərin payına düşür. Bu rəqəm Rusiyada 15%, İspaniyada 40%, Fransada isə 80% təşkil edir (*Барсукое О.А., Барсукое К.А. , 2003*).

Dediklərimizi ümumiləşdirərək belə nəticəyə gəlmək olar ki, AES - lərin təhlükəsiz işləməsinin təmin edilməsinin bu gün əsas problem olaraq qalmasına baxmayaraq, nüvə enerjisindən istifadəsiz keçinməyin də mümkün olmadığı hər kəsə aydındır.

Qeyd edək ki, sənaye istilik - nüvə reaktorlarını yaratmaq mümkün olsa, onda enerji sahəsində vəziyyət radikal dəyişə bilər. Yaxın gələcəkdə olmasa da, bu tip

reaktorları yaratmağa böyük ümidlər vardır. Məlum olduğu kimi, hələlik yalnız partlayış təsiri yarada bilən istilik -nüvə qurğuları yaratmaq üzrə tədqiqatlar uğurla başa çatmışdır. İdarə oluna bilən istilik-nüvə reaksiyalarının aparıla bilməsi üzrə tədqiqatlar isə intensiv həyata keçirilir.

Atom Elektrik Stansiyalarının şüalanma mənbəyi kimi əhalinin ümumi şüalanmasında cüzi rol oynaması məlumdur. Buna səbəb nüvə qurğularının normal fəaliyyəti zamanı ətraf mühitə atılan radioaktiv maddələrin miqdarının, adətən, çox da böyük olmamasıdır. Buna baxmayaraq bu şüalanma mənbəyi ətrafında mübahisələr bu günə qədər də səngimək bilmir. 1984 - cü ilin sonunadək dünyanın 26 ölkəsində elektrik enerjisi istehsal edən 345 nüvə reaktoru fəaliyyət göstərirdi. Bunların ümumi gücü 220 QVt təşkil edirdi ki, bu da, bütün elektrik stansiyalarının gücünün 13% - nə bərabər idi (*Омчем МАГАТЭ* за 1984 г.*).

Cədvəl 6.4 - də 1984-cü ilin sonuna qədər fəaliyyətdə olan Atom Elektrik Stansiyalarına malik ölkələrin adları, enerji bloklarının sayı və onların müvafiq gücləri öz əksini tapmışdır. Həmin vaxtdan da başlayaraq hər 5 ildən bir bu güc təxminən 2 dəfə artır. Bu cür artım tempinin saxlanıla biləcəyi hələ məlum deyil, lakin o məlumdur ki, 2000 - ci ilə qədər nəticələrin təhlili bu sahədə azalma tendensiyasının olmasını göstərir. Buna səbəb olaraq, iqtisadi çətinliklər, elektrik enerjisindən səmərəli istifadəyə dair tədbirlərin həyata keçirilməsi və həm də geniş ictimaiyyətin böyük etirazları göstərilir.

Atom Elektrik Stansiyaları uranın çıxarılması və zənginləşdirilməsindən başlayan istilik- nüvə tsiklinin çox az hissəsini təşkil edir. Bu prosesdə əsas mərhələni nüvə yanacağıının istehsalı təşkil edir. AES - də istifadə olunan nüvə yanacağı bəzən həm də ikinci emalə məruz qalır. Bu mərhələ uran və plutoniumun ayrılması ilə aparılır. Ümumi prinsipə əsasən nüvə tsikli radioaktiv tullantıların basdırılması ilə nəticələnir.

Qeyd edək ki, istilik nüvə tsiklinin hər mərhələsində ətraf mühitə radioaktiv maddələr atılır. Müxtəlif mərhələlərdə əhalinin aldığı dozanı qiymətləndirmək çox çətinidir. Bunun səbəbi hətta eyni konstruksiya malik eyni tip qurğulardan radioaktiv maddələrin sızmasının eyni olmamasıdır. Məsələn, istilikdaşıyıcı və ləngidici rolunu su oynayan reaktorlarda iki müxtəlif qurğudan (və yaxud da müxtəlif illərdə eyni qurğudan) radioaktiv qazların sızması bir-birindən milyon dəfə fərqlənə bilər.

Nüvə reaktorlarının yaradığı şüalanma dozası şüalanma vaxtından və reaktordan olan məsafədən də asılı olur. Belə ki, AES - dən uzaqlaşdıqca, insanların aldığı şüalanma dozası da azalır. Nəzərə alsaq ki, yaşayış məntəqələrindən uzaqda yerləşən AES - lərlə yanaşı, həm də böyük yaşayış massivlərinə yaxın AES - lər də mövcuddur, onda bu şüalanma növünə də xüsusi diqqətin olması zərurəti yaranır. Əlavə olaraq, hər bir reaktor ətraf mühitə müxtəlif yarımparçalanma perioduna malik çoxlu sayda radionuklidlər səpələyir. Bunların bir çoxu tez bir zamanda parçalandığından yalnız yerli əhəmiyyət kəsb edir. Digərləri isə uzun müddət yaşaya bilərlər və qlobal köçürmələr yolu ilə Yer kürəsinin hər tərəfinə yayılırlar. Bu zaman müxtəlif radionuklidlərin ətraf mühitdə özlərini aparmaları da fərqlənə bilər. Belə ki, onların bəziləri ətraf mühitdə böyük sürətlə, digərləri isə çox kiçik sürətlə yayılırlar.

1984-cü ilin sonuna qədər fəaliyyətdə olan Atom Elektrik Stansiyaları və onlara dair göstəricilər

Ölkə	Enerji bloklarının sayı	Ümumi gücü, MBt	Ölkə	Enerji bloklarının sayı	Ümumi gücü, MBt
ABŞ	85	68867	ADR	5	1694
Fransa	41	32993	Bolqarıstan	4	1632
SSRİ	46	22997	İtaliya	3	1273
Yaponiya	31	21751	Çexoslovakiya	3	1194
AFR	19	16133	Hindistan	5	1020
Böyük Britaniya	37	9564	Argentina	2	935
Kanada	16	9521	CAR	1	921
İsveç	10	7355	Macarıstan	2	820
İspaniya	7	4690	Yüqoslaviya	1	632
Belçika	6	3474	Braziliya	1	626
İsveçrə	5	2882	Niderland	2	508
Finlandiya	4	2310	Pakistan	1	125
Cənubi Koreya	3	1790			

Cədvəldəki rəqəmlər *Atom Enerjisi üzrə Beynəlxalq Agentliyin (AEBA-nın)* 1984-cü il Hesabatından götürülmüşdür.

Qeyd: МАГАТЭ³ (*Международная Агентства по Атомной Энергетике*) azərbaycanca AEBA (*Atom Enerjisi üzrə Beynəlxalq Agentlik*) adlanır.

Bu sahədə müəyyən bir anlaşma əldə etmək məqsədilə ARTEK istilik-nüvə tsklinin hər bir mərhələsi üçün hipotetik model qurğuların parametrlərini işləyib hazırlamışdır. Model qurğuları tipik konstruksiya elementlərinə və orta sıxlıqlı tipik coğrafi rayonda yerləşmə parametrlərinə malik olmuşdur. ARTEK həmçinin də mövcud olan bütün nüvə qurğularında sızmalara dair nəticələr əldə etmiş və istehsal olunan hər *Qiqavatt - il* elektrik enerjisinə düşən orta sızma kəmiyyətini müəyyən etmişdir. Bu cür yanaşma atom enerjisi üzrə proqramın realizə olunması zamanı ətraf mühitin çirklənməsinə dair nəticələri proqnozlaşdırmağa da kömək edir.

Məlum olduğu kimi, uran filizinin təxminən yarısı açıq üsulla, yarısı isə şaxta üsulu ilə çıxarılır. Çıxarılmış filiz çox da uzaqda olmayan zənginləşdirmə fabriklərinə aparılır. Bu zaman həm filiz yatağı, həm də zənginləşdirmə fabriki ətraf mühitin çirklənmə mənbəyi rolunu oynayır. Çox böyük olmayan zaman intervalında çirklənmənin, əsasən, filiz çıxarılması ilə bağlı olmasını qəbul etmək olar. Zənginləşdirmə fabriklərinə gəldikdə isə onlar uzun müddətli çirklənmə problemi yaradırlar. Belə ki, filiz emalı zamanı külli miqdarda tullantı yaranır. 1990-cı ilə qədər fəaliyyətdə olan zənginləşdirmə fabriklərinin yaxınlığında (bunlar, əsasən Şimali

Amerikadadır) 120 mln. ton -a qədər tullantı toplanmışdır. Əsrin sonunda isə bu rəqəm 500 mln. ton -a çatmışdır (Барсуков О.А., Барсуков К.А., 2003).

Bu tullantılar, aydındır ki, milyon illər ərzində radioaktiv olaraq, qalacaqdır. Beləliklə, dediklərimizdən aydın olur ki, tullantılar əhalinin atom energetikası ilə əlaqədar əsas, ən başlıcası isə uzun müddətli şüalanma mənbələridir.

Qeyd edək ki, tullantıların yaratdığı şüalanmanı əhəmiyyətli dərəcədə azaltmaq mümkündür. Bunun üçün tullantıların səthini asfaltlamaq və yaxud da polivinilxloridlə örtmək lazımdır. Aydın ki, örtük vaxtaşırı təzələnməlidir. Zənginləşdirici fabriyə daxil olan uran konsentrasiyası növbəti emala və təmizlənməyə məruz qalır və xüsusi zavodlarda nüvə yanacağına çevrilir. Emalın bu mərhələsində qaz və maye halında radioaktiv tullantılar əmələ gəlir. Bu mərhələdə şüalanma dozası, istilik - nüvə tsiklinin digər mərhələləri ilə müqayisədə, dəfələrlə az olur.

Emal olunmuş nüvə yanacağı son mərhələdə nüvə reaktorunda istifadə üçün hazırlanır.

Energetik reaktorların əsas beş növünün olması məlumdur. Bunlara *yüksək təzyiqli su reaktorları (Pressurised Water Reactor, PWR)*, ABŞ - da işlənilib-hazırlanmış və hal-hazırda ən geniş yayılmış *qaynayan sulu reaktorlar (Boiling Water Reactor, BWR)*, Böyük Britaniyada və Fransada işlənilib - hazırlanmış və həmin ölkələrdə istifadə olunan *qazla soyudulan reaktorlar*, Kanadada geniş istifadə olunan və *ağır su ilə işləyən reaktorlar* və nəhayət keçmiş SSRİ ölkələrində istismar edilən *su-qrafit kanallı reaktorları* misal göstərmək olar. Bu, beş növ reaktorlardan başqa, Avropada və keçmiş SSRİ ölkələrində növbəti nəsil reaktorları təmsil edən, *sürətli neytronlarla işləyən* dörd reaktor da vardır.

Müxtəlif reaktorlarda əmələ gələn radioaktiv tullantıların miqdarı geniş intervalda dəyişir. Belə fərqlənmə təkcə müxtəlif tip reaktorlara və yaxud da müxtəlif konstruksiyalı eyni tip reaktorlara deyil, həmçinin də eyni konstruksiyalı iki müxtəlif reaktora da aiddir. Tullantılar, eyni bir reaktor üçün də belə, müxtəlif illərdə kəskin fərqlənə bilər. Bunun səbəbi cari təmir işlərinin həcmindən müxtəlif olmasıdır. Məlum olduğu kimi, təmir müddəti ərzində tullantılar daha çox olur.

Son illər AES -lərin gücünün artmasına baxmayaraq, nüvə reaktorlarından xaric olunan tullantıların miqdarında azalma tendensiyası müşahidə olunur. Bunun səbəbi texniki səmərələşdirici tədbirlərin həyata keçirilməsi və daha ciddi radiasiya təhlükəsizliyi qaydalarının tətbiq olunmasıdır.

Dünya miqyasında AES -lərdə istifadə olunan nüvə yanacağının ~10% -i uran və plutoniumun ayrılması və onun təkrar istifadəsi üçün emala göndərilir (НКДАР ООН, 1982). Hal - hazırda sənaye miqyasında bu cür emalla məşğul olan üç zavod vardır. Bunlar Markul və La - Aqada (Fransa), Uindskeyldə (Böyük Britaniya) yerləşir. Bunlardan ən "təmizi" Markuldakı zavod hesab olunur. Bu zavodun çirkab suları Ron çayına axdığından ona ciddi nəzarət vardır. Digər iki zavodun tullantıları isə dənizə axıdılır. Uindskeyldəki zavod çox böyük çirkənmə mənbəyidir. Bu zavoddan radioaktiv maddələrin çox hissəsi ətraf mühitə emal nəticəsində deyil, emala qədər nüvə yanacağının saxlanıldığı qabların korroziyası nəticəsində atılır.

1975 – 1979 - cu illər ərzində istehsal olunan hər *Qiqavatt - il* elektrik enerjisi üçün Uindskeyldəki zavod, La - Aqadakı zavodla müqayisədə, β -aktivliyə görə 3.5, α -aktivliyə görə isə 75 dəfə çox çirklənmə yaratmışdır (*HKQDAP OOH, 1982*).

İndi isə istilik-nüvə tsiklinin son mərhələsi ilə bağlı problem üzərində dayanaq. Bu mərhələ, qeyd etdiyimiz kimi, AES -lərin yüksək aktivlikli tullantılarının basdırılması mərhələsidir. Bu problemin həlli ilə AES -lərə malik ölkələrin özləri məşğul olur. Bəzi ölkələrdə bu tullantılar əvvəlcə sementləmə yolu ilə bərk hala salınır və daha sonra isə geoloji stabil rayonlarda torpağa, geoloji stabil olmayan rayonlarda isə okeanın dibinə basdırılır. Hesab edilir ki, radioaktiv tullantıların bu üsulla basdırılması gələcəkdə əhali üçün şüalanma mənbəyi rolunu oynamayacaq.

1979 - cu ildə “İstilik - Nüvə Tsiklinin Beynəlxalq Qiymətləndirilməsi” proqramının materiallarında torpağa basdırılmış radioaktiv materialların gələcək tələyinin müəyyənləşdirilməsinə cəhdlər edilmişdir. Materiallarla tanışlıqdan məlum olur ki, radioaktiv maddələrin nəzərəcarpacaq dərəcədə biosferə daxil olması üçün 10^5 - 10^6 il -ə qədər vaxt tələb olunur.

ARTEK -in nəticələrinə əsasən bütün istilik nüvə tsikli kiçik yaşama müddətinə malik izotopların hesabına AES -lərdə istehsal olunan hər *Qiqavatt - il* elektrik enerjisinə görə təxminən 5.5 *insan - Zv* gözlənilən kollektiv effektiv ekvivalent doza şüalanması yaradır. Bunun 0.5 *insan - Zv* -i filizin çıxarılmasının, 0.04 *insan - Zv* -i uranın zənginləşdirilməsinin, 0.002 *insan - Zv* -i nüvə yanacağının istehsalının, 4 *insan - Zv* -i (ən çox hissəsi) nüvə reaktorunun istismarının və nəhayət, 1 *insan-Zv* -i isə yanacağın regenerasiyası proseslərinin payına düşür (*HKQDAP OOH, 1982*).

Məlum olduğu kimi, istilik - nüvə tsikli, həm də Yer kürəsinin hər tərəfinə səpələnən böyük miqdarda uzun yaşama müddətli radionuklidlər yaradır. ARTEK -in hesablamalarına görə bu izotoplardan gözlənilən kollektiv ekvivalent doza istehsal olunan hər *Qiqavatt - il* elektrik enerjisi üçün 670 *insan - Zv* təşkil edir (*HKQDAP OOH, 1982*). Beləliklə, Yer kürəsi əhalisinin uzun yaşama müddətli radionuklidlərdən aldığı orta illik şüalanma dozası təxminən AES -lərin yaxınlığında yaşayan əhalinin kiçik yaşama müddətli radionuklidlərdən aldığı şüalanma dozası qədərdir.

ARTEK -in hesablamalarına görə bütün nüvə tsiklindən illik kollektiv effektiv şüalanma dozası 1980 - ci ildə 500 *insan - Zv* təşkil etdiyi halda, bu rəqəm 2000 - ci ildə 10000 *insan - Zv* -ə qədər artmış, 2100 -cü ilə qədər isə 200000 *insan - Zv* - ə qədər artmalıdır (*Барсуков О.А., Барсуков К.А., 2003*).

Heç şübhəsiz, nüvə reaktorlarının yaxınlığında yaşayan insanlar, başqaları ilə müqayisədə, daha çox şüalanma dozası qəbul edir. Buna baxmayaraq, hal-hazırkı dövrdə bu doza təbii radiasiya fonunun bir neçə faizindən də çox olmur. Bundan əlavə, hətta Uindskeyl zavodunun yaxınlığında yaşayan əhalinin 1979 - cu ildə ^{137}Cs izotopunun ətrafa səpələnməsindən aldığı şüalanma dozası onların həmin il təbii mənbələrdən aldığı şüalanma dozasının $\frac{1}{4}$ - dən də az olmuşdur (*HKQDAP OOH, 1982*).

Qeyd edək ki, bu göstərilən rəqəmlər reaktorun normal fəaliyyət halı üçün hesablanmışdır. Aydınır ki, qəza zamanı ətraf mühitə atılmış radioaktiv maddələrin miqdarı kifayət qədər çox olacaqdır

6.1.2. Nüvə partlayışlarının yaratdığı şüalanma mənbələri

Atmosferdə nüvə partlayışları nəticəsində ətraf mühitin radioaktiv çirklənməsi. Yaşadığımız mühitdə biz həmçinin də nüvə partlayışları zamanı əmələ gələn radioaktiv çöküntülərin yaratdığı şüalanmaya məruz qalırıq. Bu halda söhbət, təkcə 1945 - ci ildə Yaponiyaya atılan bombaların yaratdığı çöküntüdən deyil, həm də atmosferdə sınaqdan keçirilən nüvə silahlarının əmələ gətirdiyi çöküntülərdən gedir.

Atmosferdə nüvə silahlarının sınaqdan keçirilməsi, məlum olduğu kimi, 1945 - ci ildən aparılır. Cədvəl 6.5 - də 1945 - 1980 -ci illər ərzində keçirilmiş nüvə partlayışlarının sayı və onların gücünə dair rəqəmlər öz əksini tapmışdır (*HKQAP OOH, 1982*).

Cədvəl 6.5.

Atmosferdə nüvə partlayışlarının sayı və onların gücünü əks etdirən rəqəmlər

Ölkə, sınaqların keçirilmə periodu	Sınaqların sayı	Partlayışların gücü, Mt	
		Parçalanma hesabına	Cəmi
<i>ABŞ (1945-1962-ci illər)</i>	193	72.1	138.6
<i>SSRİ (1949-1962 –ci illər)</i>	142	110.9	357.5
<i>Böyük Britaniya (1952-1953 –cü illər)</i>	21	10.6	16.7
<i>Fransa (1960-1974-cü illər)</i>	45	10.9	11.9
<i>Çin (1964-1980-ci illər)</i>	22	12.7	20.7
<i>Cəmi</i>	423	217.2	545.4

Cədvəldən göründüyü kimi, sınaqlar ən çox ABŞ -in (*193 partlayış*) və keçmiş SSRİ -nin (*142 partlayış*) payına düşür. Partlayışların ümumi gücü də çox böyük (*~ 540 Mt*) olmuşdur.

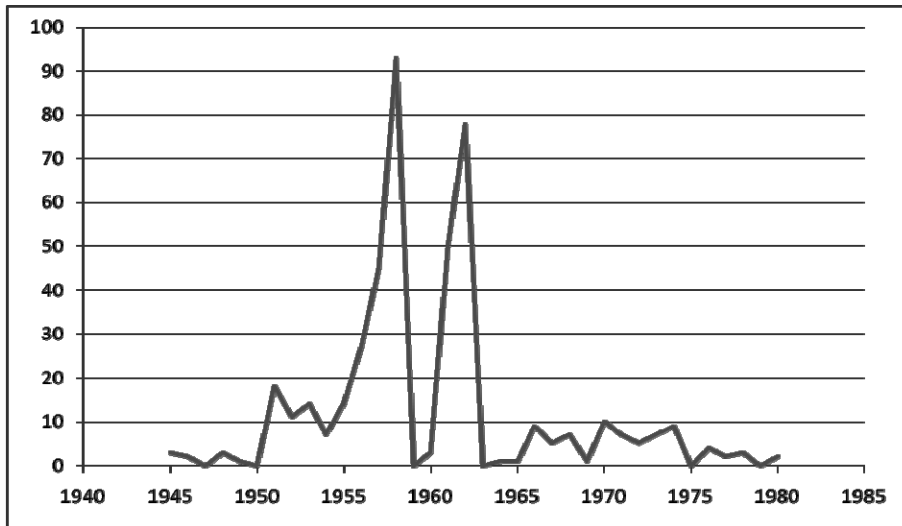
Ayrı-ayrı illərdə keçirilmiş nüvə sınaqlarının sayına dair məlumatlarla daha ətraflı cədvəl 6.6 - da və şəkil 6.2 - də tanış olmaq olar.

Şəkil və cədvəllərin təhlilindən aydın olur ki, 1954 - 1958 -ci və 1961 - 1962 -ci illərdə nüvə silahlarının çox intensiv şəkildə sınaqları keçirilmişdir. Birinci mərhələdə sınaqları Böyük Britaniya, ABŞ və SSRİ, ikinci mərhələdə isə, əsasən, ABŞ və SSRİ keçirmişdir. Birinci mərhələdə sınaqların çox hissəsini ABŞ - in, ikinci mərhələdə isə SSRİ - nin payına düşür.

1963 -cü ildə adı çəkilən dövlətlər nüvə silahlarının sınağının məhdudlaşdırılması və onların atmosferdə, su altında və kosmosda sınağının

Ayrı-ayrı illərdə keçirilmiş nüvə sınaqlarının sayına dair məlumatlar

İllər	Sınaqların sayı	İllər	Sınaqların sayı	İllər	Sınaqların sayı	İllər	Sınaqların sayı
1945	3	1954	7	1963	0	1972	5
1946	2	1955	14	1964	1	1973	7
1947	0	1956	27	1965	1	1974	9
1948	3	1957	45	1966	9	1975	0
1949	1	1958	93	1967	5	1976	4
1950	0	1959	0	1968	7	1977	2
1951	18	1960	3	1969	1	1978	3
1952	11	1961	50	1970	10	1979	0
1953	14	1962	78	1971	7	1980	2



Şəkil 6.2. Ayrı-ayrı illərdə keçirilmiş nüvə sınaqlarının sayının əyani təsviri

keçirilməməsi barədə memorandum (müqavilə) imzaladılar. Bundan sonra yalnız Fransa və Çin dövlətləri atmosferdə bir sıra sınaqlar keçirdilər ki, onların da gücü, kifayət qədər az olmaqla yanaşı, həm də böyük fasilələrlə keçirilmişdir. Bu cür partlayışlar sonuncu dəfə 1980 - ci ildə keçirilmişdir. Adətən radioaktiv çöküntülər əmələ gətirməyən yeraltı sınaqlar isə bu günə qədər də keçirilir.

Partlayış zamanı yaranan radioaktiv materialın bir hissəsi sınaq keçirilən yerdən çox da uzaq olmayan ərazilərdə çökür. Digər hissəsi isə troposferdə ilişib qalaraq, eyni bir en dairəsi üzrə külək vasitəsilə uzaq məsafələrə daşınır. Havada təxminən bir aya qədər qala bilən bu cür radioaktiv maddələr son nəticədə torpağa çökürlər.

Qeyd edək ki, partlayış zamanı əmələ gələn radioaktiv materialın daha çox hissəsi 10 - 50 km yüksəklikdə yerləşən stratosferə atılır ki, orada da onun qalma müddəti bir ay yox, bir neçə aya bərabər olur. Son nəticədə radioaktiv maddələr yenə də, kiçik sürətlə də olsa, aşağı enərək, Yer kürəsinin hər tərəfinə səpələnirlər.

Radioaktiv çöküntülərin yüzlərlə müxtəlif növ radionuklidlərə malik olmasına baxmayaraq, onların əksəriyyəti, ya çox kiçik konsentrasiyaya malik olur, ya da çox tez parçalana bilirlər. Buna görə də, radionuklidlərin çox az hissəsi ümumi şüalanma dozasının formalaşmasında rol oynaya bilirlər. Daha dəqiq desək, nüvə partlayışlarından əhalinin ala biləcəyi kollektiv ekvivalent doza payı ~1% təşkil edir ki, bunu da, karbon - 14, seziyum -137, sirkonium - 95 və stronsium - 90 kimi radionuklidlər yaradır.

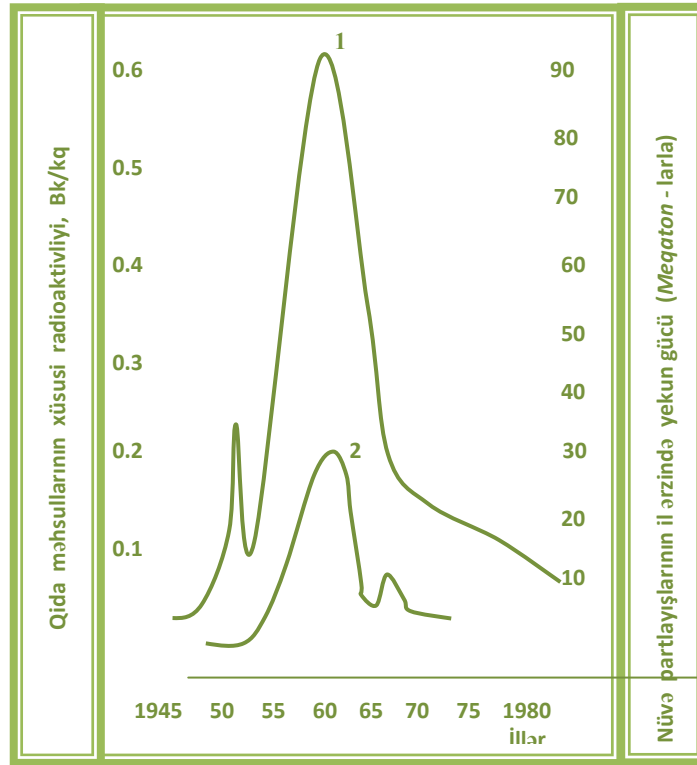
Adı çəkilən radionuklidlər müxtəlif sürətlərlə parçalandığından onların yaratdığı şüalanma dozası partlayışdan sonrakı müddətlərdə fərqli olurlar. Məsələn, 64 sutka - ya bərabər yarımparçalanma perioduna malik sirkonium - 95 izotopu sonrakı müddətlərdə artıq şüalanma mənbəyi olmur. Seziyum - 137 və stronsium - 90 izotopları ~ 30 il -ə yaxın yarımparçalanma perioduna malik olduğundan, onların şüalanma dozasında rolu danılmazdır. Bu izotopların sırasında 5730 il -ə bərabər yarımparçalanma perioduna malik kalium - 40 izotopu, hətta uzaq gələcəkdə belə radioaktiv şüalanma mənbəyi rolunu oynayır. Müqayisə üçün qeyd edək ki, sonuncu nüvə partlayışından 2000 -ci ilə qədər keçən müddət ərzində kalium - 40 izotopunun aktivliyi cəmi 7% azalmışdır.

Maraqlıdır ki, illik doza şüalanması atmosferdə nüvə silahlarının sınaqdan keçirilməsi ilə çox dəqiq korrelyasiya edir.

6.3 – 6.5 - ci şəkillərdən də görüldüyü kimi, şüalanma dozasının maksimumları sınaqların keçirildiyi periodlara düşür. Məsələn, 1963 - cü ildə nüvə silahlarının sınaqları ilə bağlı orta illik kollektiv dozanın təbii mənbələrin yaratdığı ümumi şüalanma dozasının 7% - ni təşkil etdiyi halda, 1966 - cı ildə bu rəqəm 2% - ə qədər azalmış, 80 - ci illərin əvvəlində isə 1% təşkil etmişdir.

Şəkillərdən ilk növbədə diqqəti cəlb edən Cənub yarımkürəsi (Argentina) ilə müqayisədə Şimal yarımkürəsində (Nyū-York və Danimarkada) radioaktiv çirklənmənin əhəmiyyətli dərəcədə yüksək olmasıdır.

Qeyd edək ki, göstərilən rəqəmlər şüalanma dozasının orta qiymətləridir. Məsələn, əksər sınaqların keçirildiyi Şimal yarımkürəsində radioaktiv çöküntülər daha intensiv olmuşdur. Buna görə də Uzaq Şimalda yaşayan çobanların seziyum -137 izotopundan aldığı şüalanma əksər əhalinin aldığı orta individual dozadan 100 -1000 dəfəyə qədər çox olmuşdur. Bu zaman onlar böyük dozaları, həm də təbii mənbələrdən



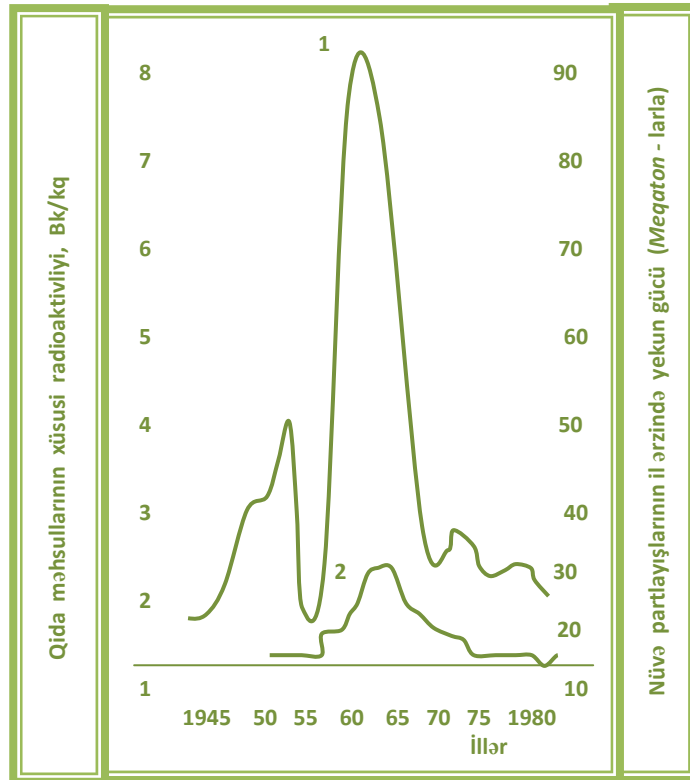
Şəkil 6.3. Qida məhsullarında stronsium- 90 izotopunun miqdarının atmosferdə sınaqdan keçirilən nüvə partlayışlarının illik yekun gücündən asılılığı (1. Nyu-York, 2. Argentina)

alırlar. Belə ki, seziyum şibyələrdə toplanaraq, qida zənciri üzrə insan orqanizminə daxil olur. Bu günə qədər atmosferdə sınaqdan keçirilmiş bütün nüvə partlayışlarından gözlənilən ümumi kollektiv effektiv ekvivalent doza $30000000 \text{ insan} - \text{Zv}$ təşkil edir. 1980 -ci ilə qədər Yer kürəsinin əhalisi bu dozanın yalnız 12% - ni almışdır, qalan hissə isə hələ milyon illər ərzində insanlar tərəfindən qəbul ediləcək.

Şəkil 6.5 - də ayrı - ayrı qida məhsullarında seziyum - 137 izotopunun miqdarlarına dair nəticələr öz əksini tapmışdır (*Радиация. Дозы, эффекты, риск., 1990*).

Nəticələrdən aydın olur ki, qida məhsullarında seziyum-137 izotopunun miqdarı nüvə silahlarının sınaqlarının intensiv keçirildiyi illərdə əhəmiyyətli dərəcədə yüksək olur. Daha çox maraq doğuran taxıl məhsullarında bu izotopun böyük miqdarda toplanmasıdır.

Nüvə partlayışları, məlum olduğu kimi, onların keçirilmə şəraitindən və

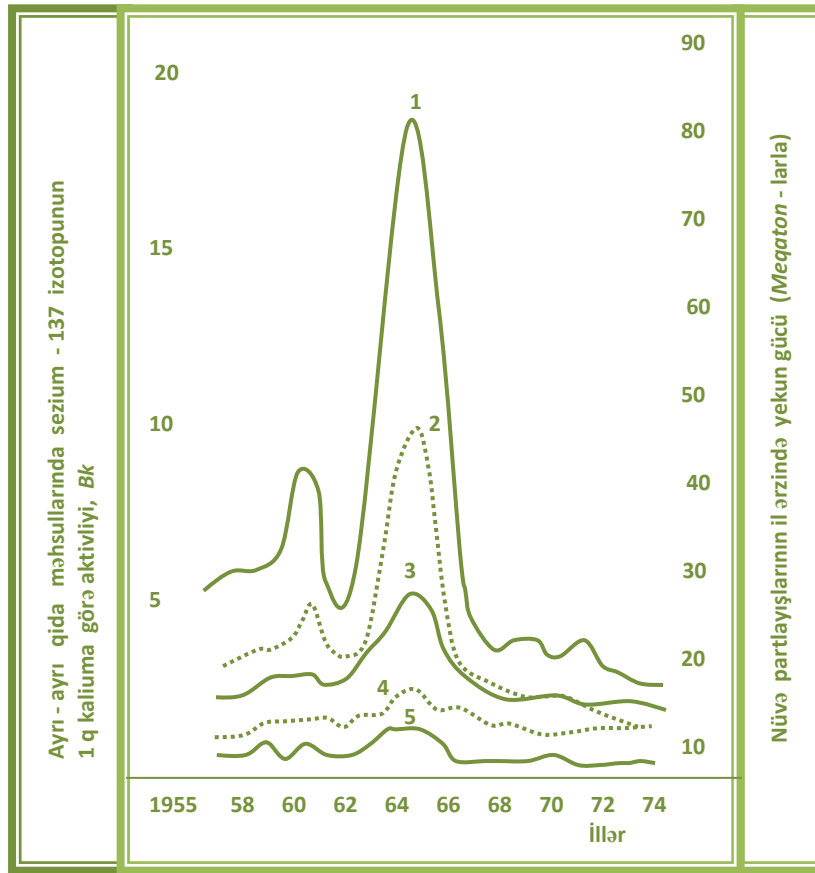


Şəkil 6.4. Qida məhsullarında sezium - 137 izotopunun miqdarının atmosferdə sınaqdan keçirilən nüvə partlayışlarının illik yekun gücündən asılılığı (1. Danimarka, 2. Argentina).

radionuklidlərin ətraf mühitdə özlərini aparmalarından asılı olaraq, müxtəlif təsirlər yarada bilər. Bu təsirlər ilk növbədə meteoroloji şəraitlə, radioaktiv buludun qalxma hündürlüyü və s. ilə üzvi surətdə bağlı olur. Sadalanan şərtlər nəinki Yer kürəsinin verilmiş bir regionu üçün, həm də qlobal miqyasda ümumi şüalanma dozasını qiymətləndirməyi əhəmiyyətli dərəcədə çətinləşdirir. Buna görə də nüvə partlayışlarının radiasiya təsirlərini ancaq təqribi hesablamaq mümkündür.

Nüvə sınaqlarının başladığı müddətdən 1981 - ci ilə qədər gözlənilə bilən effektiv dozaya və ayrı - ayrı şüalanma yollarının yaratdığı şüalanma dozasına uyğun rəqəmlər cədvəl 6.7 - də öz əksini tapmışdır.

Cədvəldən görüldüyü kimi, radionuklidlərin qida ilə daxil olması (peroral daxilolma) daha böyük əhəmiyyət kəsb edir. Bu halda xarici şüalanmaya daha kiçik pay düşür. Üçüncü yerdə isə radionuklidlərin nəfəsalma zamanı orqanizmə daxil olması



Şəkil 6.5. Ayrı-ayrı qida məhsullarında seziyum -137 izotopunun miqdarının atmosferdə sınaqdan keçirilən nüvə partlayışlarının illik yekun gücündən asılılığı (1. Taxıl məhsulları; 2. Ət; 3. Süd; 4. Meyvə; 5. Tərəvəz).

durur. Sınaqların əksəriyyətinin Şimal yarımkürəsində aparılması ilə əlaqədar bu yarımkürədə şüalanma dozası, Cənub yarımkürəsi ilə müqayisədə çoxdur. 1981-ci ilə qədər nüvə sınaqlarında gözlənilən bilən qlobal kollektiv effektiv doza $3 \cdot 10^7$ insan \cdot Zv -ə bərabər olmuşdur. Bu rəqəm Yer kürəsi əhalisinin təbii mənşəli mənbələrdən ~ 4 il -də aldığı şüalanmaya bərabərdir (rəqəmlər hesablanarkən Yer kürəsi əhalisinin təbii artımı da nəzərə alınmışdır). Bu zaman əhalinin qəbul etdiyi kollektiv effektiv dozaya daha çox artımı karbon - 14, seziyum - 137, stronsium – 90 izotopları vermişdir. Seziyum - 137 və stronsium - 90 izotoplarının təbii parçalanması hesabına XXI əsrin

Nüvə sınaqlarının başladığı müddətdən 1981-ci ilə qədər gözlənilən effektiv dozaya və ayrı – ayrı şüalanma yollarının yaratdığı şüalanma dozasına uyğun rəqəmlər.

Radionuklidlərin çökmə zonaları	Gözlənilən effektiv doza, mZv	Ümumi şüalanmada ayrı-ayrı daxilolma yollarının payı, %		
		Qida ilə daxilolma (peroral daxilolma)	Xarici şüalanma	Nəfəsalma
<i>Mülayim qurşaq, Şimal yarımkürəsi</i>	4.5	71	24	5
<i>Mülayim qurşaq, Cənub yarımkürəsi</i>	3.1	90	8	2
<i>Bütöv Yer kürəsi</i>	3.8	79	18	3

başlanğıcında bu izotopların gözlənilən qlobal dozaya verdiyi pay kəskin azalmışdır. Karbon - 14 izotopu isə böyük yaşama müddətinin hesabına (yarımparçalanma periodu 5730 il -ə bərabərdir) hələ uzun müddət şüalanma dozası yaratmaqda davam edəcəkdir.

Qeyd edək ki, atmosferdə nüvə silahlarının sınaqlarının dayandırılmasına baxmayaraq, bəzi ölkələr bu sınaqları keçirməkdə davam edirlər. Bu səbəbdən də hər bir ölkədə bu sınaqlara ciddi nəzarətin təşkilinə və şüalanma üzrə monitorinq işlərinin aparılmasına böyük ehtiyac vardır.

İndi də Çində aparılmış sınağın yaratdığı radioaktiv aerosol buludlarının yerdəyişməsi nəticəsində formalaşmış radiasiya vəziyyətinin öyrənilməsinə dair nəticələrlə tanış olaq. Bu nəticələr radiometrik zondların köməyi ilə aparılmışdır.

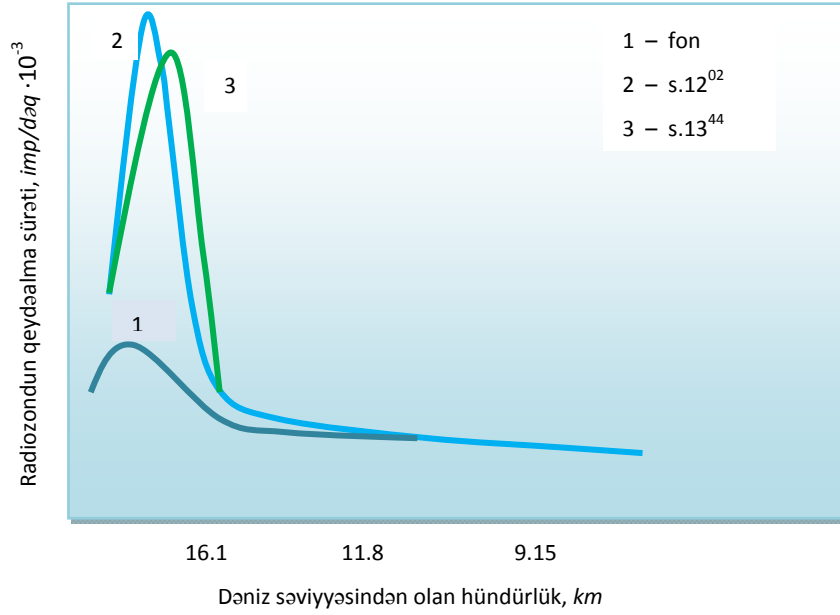
Əvvəlcə qeyd edək ki, nüvə partlayışlarından yaranan radioaktiv parçalanma məhsullarını iki növə ayırırlar. Birinci növə bilavasitə partlayışdan sonra torpaq və su səthlərində lokal çöküntülər, ikinci növə isə troposfer və strotosfer çirklənmələri aid edilir. Lokal çöküntülər nisbətən böyük aerosol zərrəciklərindən ibarət olur. Təxminən 100 km -lik əraziyə çökə bilən bu zərrəciklər partlayış zamanı yaranmış ümumi radioaktiv maddələrin ~ 50% -ni təşkil edir. Troposfer və strotosfer çöküntüləri isə nisbətən kiçik ölçülü aerosollardan ibarət olur. Polyar enliklərdə strotosferdə aerosolların qalma müddəti ~7, ekvator yaxınlığında isə ~ 16 ay -a bərabər olur (HKQAP OOH, 1982). Həmin müddət ərzində aerosollar səpələnir, külək istiqamətində en dairəsi üzrə yerini dəyişərək qlobal miqyasda çöküntülər əmələ gətirir. Uzun yaşama müddətinə malik bu cür qlobal çirklənmələr əsasən nüvə partlayışının keçirildiyi yarımkürədə müşahidə olunur.

Müəyyən edilmişdir ki, parçalanma məhsullarının atmosferdə maksimum paylanması əsasən orta enliklərdə aşağı strotosferdə müşahidə olunur ki, bu da, məlum olduğu kimi, yüksəklik təyyarələrinin (10 - 20 km) intensiv uçuşlarına uyğun zona hesab

olunur. Meteoroloji müşahidələr göstərir ki, aşağı strotosferdə radioaktiv aerosollara malik hava kütləsinin əsasən en dairəsi üzrə horizontal yerdəyişməsi baş verir.

Qeyd edək ki, bu cür yerdəyişmə daha çox maraq doğurur. Belə ki, radioaktiv aerosollar buludunun troposferin (aşağı strotosfer təbəqəsinin) hüdudlarında hərəkətinin öyrənilməsi aviasiya uçuşlarının radiasiya təhlükəsizliyi baxımından çox vacibdir.

Şəkil 6.6 -da 2 dekabr 1976 -cı il tarixində Alma - Ata şəhəri üzərində yerləşdirilmiş Şar - Zond detektorunda qeydə alınmış şüalanma intensivliyinin hündürlükdən asılı dəyişmə mənzərəsi göstərilmişdir (Kolomey E.B. u dp.,1997).



Şəkil 6.6. 2 - 3 dekabr 1976 - cı ildə Alma - Ata üzərindən radioaktiv buludun keçməsi zamanı Radiozondun ölçmə sürətinin zaman-hündürlük asılılığı

Saat 12 üçün qeydə alınmış pikin intensivliyi (2 əyrisi) fondan təxminən bir tərtib çox olduğu halda, sonrakı saatlarda şüalanma səviyyəsi əhəmiyyətli dərəcədə azalmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, bu mənzərə Lobnor gölü (Çin) yaxınlığında poliqonda nüvə sınağının keçirilməsi zamanı yaranmış radioaktiv aerosollar buludunun Alma - Ata üzərindən keçməsi ilə əlaqədar olmuşdur.

1Mt gücündə nüvə partlayışı zamanı yaranmış radionuklidlərin Bekkerel - lə miqdarı $Q=1.45 \cdot 10^{26} \eta \cdot \lambda$ düsturu ilə ifadə olunur.

Burada η – parçalanma zamanı faizlərlə nuklid çıxımı, λ – isə T yarımparçalanma periodu ilə ifadə olunan sabit ədəddir: $\lambda=0.693/T_{1/2}$ (ifadədə yarımparçalanma periodunun vahidi saniyə götürülmüşdür).

ARTEK ekspertlərinin fikrincə, nüvə silahlarının sınaqları zamanı ümumi aktivliyin yaranması Sr^{89} , Sr^{90} , Zr^{95} , Ru^{103} , Ru^{106} , J^{131} , Cs^{136} , Cs^{137} , Ca^{140} , Ce^{141} , Ce^{144} kimi radionuklidlərin parçalanma çıxımı ilə müəyyən edilir (HKДAP OOH, 1982). Həm bu radionuklidlərin çıxımı, həm də radioaktiv aerosollar buludunun yerdəyişməsi haqqında meteoroloji və radiometrik məlumatlardan istifadə etməklə strotosferdə radionuklidlər buludunun aktivliyinin zamandan asılı olaraq dəyişməsi müəyyən edilmişdir. Alınmışdır ki, tam səpilənə qədər radioaktiv aerosollar buludu Yer kürəsini bir neçə dəfə dolandır.

6.1.3. Təbabətdə istifadə olunan şüalanma mənbələri.

Tibbi müayinə və müalicə zamanı əhəlinin şüalanması. Bu gün təbabətdə diaqnostika məqsədilə istifadə olunan rentgen şüaları daha geniş tətbiq sahəsi tapmışdır. ARTEK -in nəticələrinə əsasən inkişaf etmiş ölkələrdə ildə hər 1000 nəfərdən 300 – 900 nəfəri bu şüalardan müayinə məqsədi ilə istifadə edir. Qeyd edək ki, bura dişlərin rentgen müayinəsi və kütləvi flüoroqrafiya daxil deyil. Əksər ölkələrdə rentgen müayinəsinin təxminən yarısı döş qəfəsinin müayinəsinin payına düşür. Son illər vərəm xəstəliyinə qarşı ciddi tədbirlərin görülməsi bu xəstəliyə tutulanların sayının azalmasına səbəb olduğuna görə rentgen şüalarından bu məqsədlə istifadənin intensivliyi də azalmışdır. Bundan başqa, təcrübə göstərir ki, ağciyər xərçənginin, hətta onun ilkin mərhələsində rentgen şüaları ilə aşkar edilməsi xəstələrin sağ qalma şansını azaltmır. Bu səbəbdən də, bu gün sənaye cəhətdən güclü inkişaf etmiş İsveç, Böyük Britaniya, ABŞ kimi ölkələrdə bu istiqamətdə müayinələrin sayı kəskin azalmışdır.

Son illər rentgen müayinəsi zamanı qəbul olunan şüalanma dozasını, onun effektivliyini dəyişmədən azaltmağa imkan verən bir sıra texniki təkmilləşdirmələr əldə etmək mümkün olmuşdur. Rentgen şüaları kəşf olunan gündən bu günə qədər rentgendiagnostika metodlarının işlənilib hazırlanması praktikasında ən əhəmiyyətli nailiyyət kompyuter tomoqrafiyası olmuşdur. Müasir dövrdə kompyuter tomoqrafiyası yeni - yeni tətbiq sahələri tapır və daha geniş tətbiq olunmağa başlayır. Kompyuter tomoqrafiyası üsulunun tətbiqi, adi uroqrafiya ilə müqayisədə, böyrək müayinəsi zamanı dərinin ~ 5, yumurtalığın ~ 25, spermatozoidlərin isə ~ 50 dəfəyə qədər az şüalanma dozası qəbul etməsinə səbəb olmuşdur.

Ən geniş yayılmış tibbi ləvazimatın rentgen aparatı olmasına baxmayaraq, son zamanlar tətbiqi radioaktiv izotoplardan istifadəyə əsaslanan çoxlu sayda yeni mürəkkəb diaqnostik üsullar işlənilib hazırlanmışdır. Bu üsullar ümumi ad altında **radiasiya diaqnostikası** adlanır.

Bu gün radioaktiv şüalanmadan təbabətdə təkə diaqnostika deyil, həm də müalicə məqsədi ilə istifadə olunur. Deməli, insanlar texnogen radiasiya mənbələrindən aldığı şüalanmanın bir hissəsini də radioaktiv izotoplardan istifadə edilməklə tətbiq olunan tibbi müalicə üsulu və prosedurlardan alır. Qeyd edək ki, qəbul olunan bu şüalanma ümumi texnogen şüalanmanın çox hissəsini təşkil edir.

Paradoksal olsa da, bu gün xərcəng xəstəliyinin müalicəsində əsas üsullardan biri məhz şüa terapiyasıdır. Çox təəssüf ki, Yer kürəsi əhalisinin nə qədər hissəsinin tibbi müayinə və müalicə zamanı şüalanmaya məruz qalması və bu zaman hansı orqan və toxumaların daha çox şüalanma dozası qəbul etməsi hələ də dəqiqliyi ilə öyrənilməmiş qalır.

Təbabətdə Tibbi radiologiya adlanan elm sahəsi vardır. **Tibbi radiologiya – radioaktiv şüaların köməyi ilə insanın daxili orqanlarının təsvirinin alınması və müxtəlif patologiyaların aşkar edilməsi ilə məşğul olan elm sahəsidir.** Son illər bu sahə ümumi diaqnostikanın vacib üsullarından birinə çevrilmişdir.

Tibbi radiologiyanın radioqrafiya bölməsində radioaktiv şüalardan pasiyentin bədənini “*işığa salmaq*” üçün istifadə edilir. Adətən bu zaman alınan şəkillər daxili orqanların fəaliyyətini əks etdirən az sayda məlumata malik olur və həkim - radioloqların dəqiq interpretasiya etməsinə ehtiyacı olan incə radioqrafik effektlərə malik olur.

Radioaktiv maddənin venadaxili və ya qida borusu vasitəsilə orqanizmə daxil edilməsinə əsaslanan diaqnostika üsulu isə, “*işığa salmaq*” üsulu ilə müqayisədə, daha informativ üsul hesab olunur. Bu üsulla qeydə alınan şüalanmanın əsasında radioaktiv maddənin insan bədənində paylanması müəyyən edilir və xəstə orqan qeydə alınaraq, onun fəaliyyətinin xüsusiyyətləri öyrənilir. Sadalanan işlərin görülməsi üçün texnesium - 99 (Tc^{99}) radioaktiv izotopundan istifadə edilir. Məlum olduğu kimi, adı çəkilən radionuklid 140 keV enerjili γ -kvantlar şüalandıran mənbədir və 6 saat -a bərabər yarımparçalanma perioduna malikdir.

Radiotəbabətdə son illər daha bir tomoqrafik üsuldən geniş istifadə edilməyə başlanmışdır. Radioqrafik təsvir bu halda radioaktiv mənbəyə malik kameranın köməyi ilə alınır. Təsvir alınan zaman kamera pasiyentin ətrafında fırlanır. Radioaktiv mənbə olaraq, texnesium izotopundan başqa, həm də daha kiçik enerjili γ -fotonlar şüalandıran izotoplardan da istifadə edilir. Məsələn, 80 keV enerjili tallium - 201 (Tl^{201}) və 55 - 65 keV enerjili tantal - 178 (Ta^{178}) izotoplarından ürəyin, tallium - 201 izotopundan həm də şişlərin təsvirini almaq üçün, 80 keV enerjili ksenon - 133 (Xe^{133}) izotopundan isə ciyərin müayinəsi üçün istifadə edilir.

Radioizotoplardan, məlum olduğu kimi, həm də orqanizmdə baş verən müxtəlif prosesləri tədqiq etmək və şişlərin yerlərini müəyyənləşdirmək üçün istifadə olunur. Son illər radioizotoplardan təbabətdə istifadəyə təlabatın artmasına baxmayaraq, rentgenoloji müayinə ilə müqayisədə, onlar çox az tətbiq olunur. Belə ki, hətta inkişaf etmiş ölkələrdə belə hər 1000 nəfərə maksimum 10 - 40 radioizotop müayinəsi düşür. Qeyd edək ki, ümumilikdə dünya üzrə xərcəng xəstəliyinin müalicəsi üçün istifadə olunan 4000 -dən artıq radioterapevtik qurğu vardır. Bu halda da, rentgen qurğuları halında olduğu kimi, pasiyentlərin aldığı doza və qurğuların istifadə müddətləri haqqında məlumat almaq həddən artıq çətin olur.

Rentgenoloji və radioloji müayinələr zamanı insanların aldığı dozanın orta həddini qiymətləndirməyə dair müxtəlif vaxtlarda uğurlu cəhdlər edilmişdir. Son vaxtlara qədər orta doza həddinin qiymətləndirilməsi genetik nəticələrə səbəb ola bilən

səviyyənin müəyyənləşdirilməsi ilə məhdudlaşır. Bu hədd “genetik əhəmiyyətli ekvivalent doza” (GƏED) adlanır.

GƏED -nin qiyməti iki faktorla: pasientin müayinədən sonra uşağının ola bilməsi ehtimalı (bu həm də onun yaşından asılı olur) və cinsiyyət vəzilərinin şüalanma dozası ilə müəyyən edilir. GƏED -nin qiymətləndirilməsi onun Böyük Britaniyada 1977 -ci ildə 120 mkZv, Avstraliyada 1970 -ci ildə və Yaponiyada 1974 və 1979-cu illərdə ~150 mkZv, SSRİ -də isə 1970 -ci illərin sonunda 230 mkZv həddində olduğunu göstərdi.

Müəyyən edilmişdir ki, orqanizmin radiohəssaslığı udulma dozasının qiymətindən başqa, həm də bioloji obyektin radiasiya qavrayıcılığından asılı olur. Bildiyimiz kimi, orqanizm səviyyəsində radiohəssaslıq $D_{50/30}$ parametri vasitəsilə qiymətləndirilir. Bu parametr şüalanmadan keçən 30 gün ərzində şüalanmış orqanizmlərin 50 % -nin ölümünə səbəb olan letal doza göstəricisidir. Hüceyrə səviyyəsində isə radiohəssaslıq D_{37} kimi işarə olunan doza ilə qiymətləndirilir. Məsələn burasındadır ki, hüceyrənin radiohəssaslığını bir hüceyrəyə orta hesabla bir γ -kvant və ya bir elementar zərrəcik düşməsinə əsaslanan dozalarla ölçmək daha rahat olur. Belə ki, γ -kvantın və ya elementar zərrəciyin hüceyrənin üzərinə düşmə aktlarına təsadüfi paylanma xəsidir. Bəzi hüceyrələr iki və ya üç dəfə zədələndiyi halda, digərləri isə ümumiyyətlə zədələnməmiş qalırlar. Ehtimal nəzəriyyəsinə əsasən bu halda zədələnmiş hüceyrələrin sayı 37 % təşkil edir. Buna görə də D_{37} parametri hüceyrələrin radiohəssaslığının qiymətləndirilmə kriteriyası kimi qəbul olunmuşdur. İstənilən növ hüceyrənin məhvinə uyğun D_{37} parametrinin qiyməti təxminən eyni olub, 1.0 Qr -ə bərabərdir. İnterfaza hüceyrələrinin həssaslığı isə müxtəlif olub, 0.5-3.0 Qr intervalında dəyişir.

Tibbi müayinə və müalicə məqsədi ilə istifadə olunan ionlaşdırıcı şüalanmanın xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, bu zaman nisbətən yüksək şüalanma dozasından istifadə olunur və doza gücü də kifayət qədər böyük olur. Məsələn, pasiyentin ayrı-ayrı orqanlarının rentgen diaqnostikası zamanı udulma dozasının qiyməti 1 Qrey -in hissələri qədər olur. Radioterapevtik müalicə prosesində isə bundan da yüksək dozalardan istifadə olunur. Qeyd edək ki, bu halda güclü şüalanmaya məruz qalan pasiyentlərin sayı az olur.

Rentgen diaqnostik müayinədən keçən pasiyentlərin sayı tibbi məqsədlə şüalanmaya məruz qalan ümumi pasiyentlərin sayının çox hissəsini təşkil edir.

Güclü sənayeyə malik ölkələrdə rentgen şüalanmasının hər nəfərə düşən illik dozası ($5 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$) Qr -ə bərabər olur ki, bu da tibbi şüalanmada hər milyon əhali üçün ($5 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^3$) insan \cdot Qr -ə bərabər illik kollektiv doza deməkdir (HҚДАР ООН, 1982).

Pasiyentlərin şüalanmasının qiymətləndirilməsi ilə müqayisədə tibbi personalın ildə hər milyon adam üçün 1 insan \cdot Qr hesabı üzrə şüalanması tibbi məqsədlə əhəlinin şüalanmasının kiçik hissəsini təşkil edir. ARTEK -in hesablamalarına görə tibbi proseduranın yaratdığı kollektiv qlobal doza ildə $5 \cdot 10^5$ insan \cdot Qr -ə bərabər olur (HҚДАР ООН, 1982).

Sonda qeyd edək ki, təbii radiasiya mənbələrinin ümumi dozaya verdiyi pay ~ 70 % təşkil etdiyi halda, təbabətdə istifadə olunan mənbələrin ümumi dozada payı ~ 29 % təşkil edir. Belə çıxır ki, geridə qalanlara cəmi 1 % pay düşür (*HKДAP OOH, 1982*).

6.1.4. Digər radioaktiv şüalanma mənbələri.

Təbii qazdan və sudan istifadənin yaratdığı şüalanma. Evlərdə radon problemi. “Evlərdə radon” problemi bu gün hər bir kəsi narahat edən problemdir. Belə ki, təbii qazdan məişətdə geniş istifadənin və duş qəbulunun gündəlik tələbatə çevrilməsi, əlavə olaraq, tikinti materiallarından istifadə bu problemin yaranmasında müstəsna rola malikdir.

Radonun yaratdığı fərdi və kollektiv dozanın digər mənbələrin birlikdə yaratdığı dozadan böyük olması bir daha bu problemin ciddiliyindən xəbər verir. Müəyyən edilmişdir ki, ABŞ -da evlərin təxminən 10 % - də radonun konsentrasiyası bu izotopun maksimum yolverilən həddindən çox olur. Bu ölkənin su xətlərindən evlərə verilən içməli suda da radonun konsentrasiyasının normadan yüksək olması müəyyən edilmişdir. Anoloji vəziyyət bir çox Avropa ölkələrində də mövcuddur (*Экология охр. прур. и экол. безопасн., 1998*). Rusiyada da vəziyyət qənaətbəxş deyildir. Bəzi hallarda yaşayış binalarının daxilində radonun və onun parçalanma məhsullarının konsentrasiyası uyğun normalardan yüksəkdir. Qeyd edək ki, yeni tikilmiş yaşayış binaları üçün radonun xüsusi aktivliyi 100 Bk/m^3 , köhnə binalar üçün isə 200 Bk/m^3 həddində qəbul edilmişdir.

Dediklərimizdən aydın olur ki, radonun evlərə daxil olmasının əsas mənbəyi təbii qaz hesab olunur. Dağ süxurlarının qaz kollektorlarında yığılan radon təbii qazın tərkibində qazma quyuları, daha sonra isə qaz boruları vasitəsilə yaşayış və istehsalat binalarına daxil olur. Müxtəlif yerlərdən çıxarılan təbii qazın tərkibində radonun konsentrasiyası eyni olmur. Bundan başqa, istehlakçıya çatana qədər yolda radonun konsentrasiyası kifayət qədər dəyişə bilər. Bu dəyişməyə səbəb çoxlu sayda amillər, o cümlədən də qazın emalı, onun nəqli və saxlanması şəraiti ola bilər. Vəziyyətdən çıxış kimi əhəlinin radonla şüalanmasının azaldılması yollarının müəyyənləşdirilməsi hesab olunur. Bu sahədə çətinlik törədən əsas amil bina tikilməmişdən və əhali orada yerləşdirilməmişdən əvvəl radonun konsentrasiyasını dəqiqliyi ilə müəyyən etməyin mümkün olmamasıdır. Ona görə də radonun evlərdə miqdarının az olmasına nail olmaq üçün binaların layihələşdirilməsi zamanı onun miqdarının proqnozlaşdırılması tələb olunur. Hazır binalarda isə radonun miqdarının azaldılmasına ventilyasiya sisteminin yaxşılaşdırılması, havasorma qurğularının quraşdırılması və s. işləri özündə cəmləşdirən tədbirlərin həyata keçirilməsi ilə nail olmaq olar. Nəzərə almaq lazımdır ki, radon havadan təxminən 8 dəfə ağırdır və ona görə də o, binaların zirzəmilərində və birinci mərtəbələrində toplanmağa daha çox meyllidir.

Kömürün yanmasının yaratdığı şüalanma. Radionuklidlərin konsentrasiyasının müxtəlif kömür laylarında 100 dəfəyə qədər fərqlənə bilməsinə baxmayaraq, ən təmiz halda belə kömür, Yer qabığındakı orta qiymətlə müqayisədə,

çox da böyük olmayan miqdarda radionuklidlərə malik olur. Bu səbəbdən də, daş kömürdən yanacaq kimi istifadə edilməsi insanların müəyyən qədər şüalanmaya məruz qalmasına səbəb olur. Belə ki, bu yanacaq növündən istifadənin yaratdığı radioaktiv çirklənmənin səbəbi onun tərkibində olan kalium - 40, uran - 238 və torium - 232 sırası elementlərinin yanma prosesində atmosfərə atılmasıdır.

Məlum olduğu kimi, kömürlə işləyən istilik elektrik stansiyalarında böyük miqdarda kömürün yanması nəticəsində (1 QVt elektrik enerjisi almaq üçün $3 \cdot 10^9 \text{ kq}$ kömür yandırmaq lazım gəlir) atmosfərə təbii radionuklidlərə malik külli miqdarda aerosol zərrəciklər atılır. Bu cür elektrik stansiyalarının yaxınlığında yaşayan əhali yüksəlmiş təbii fondan əlavə, orqanizmə hava və qida ilə daxil olan radionuklidlərin daxili şüalanmasına məruz qalır. Bundan başqa, kömürün yanması nəticəsində yaranan şlak və kömür tozunun (külünün) tərkibində radionuklidlər olur ki, bunlar da külək vasitəsilə yaxın ərazilərə yayılır. Təxmini hesablamalara görə aerosollarda və kömürün külündə olan radionuklidlər nəfəsalma zamanı ildə istehsal olunan hər meqavat elektrik enerjisi üçün adambaşına $0.03 \cdot 10^{-2} \text{ Qr}$ daxili şüalanmanın kollektiv dozasını yaradır. Kömür yanan zaman onun filtdən keçən külündə və alınan şlakda radionuklidlərin konsentrasiyasının kifayət qədər yüksək olması müxtəlif tədqiqatlarla sübut edilmişdir. Kömürlə işləyən elektrik stansiyalarının ətrafında yerüstü atmosferdə, torpaq və qaz nümunələrində radionuklidlərin miqdarının təyini də bunu sübut etmişdir.

Qeyd edək ki, kömürün yanması prosesində onun mineral komponentlərinin çox hissəsi radionuklidləri özündə saxlayan şlak və ya kül formasına çevrilir. Məsələn, kömürdən yanacaq kimi istifadə olunan İstilik Elektrik Stansiyalarında şlakın böyük hissəsinin sobada qalmasına baxmayaraq, onun yüngül, kül fraksiyası boru ilə sorularaq, atmosfer havasına daxil olur və canlılar üçün real təhlükə mənbəyi rolunu oynayır. Əlavə olaraq, havaya sorulan külün torpağa çökməsi onun yenidən tozla birlikdə havaya qayıda bilməsinə şərait yaranır. Kömürün, digər təbii materiallar kimi çox da böyük olmayan miqdarda ilkin radionuklidlərə malik olmasına baxmayaraq, yanma prosesində radionuklidlərin konsentrasiyası artır və nəticədə onların nəfəs yollarına və ətraf mühitin ayrı - ayrı komponentlətinə daxil olması insanlar üçün yeni şüalanma mənbəyinin yaranmasına səbəb olur.

ARTEK -in sonuncu məlumatlarına əsasən istehsal olunan hər *Qiqavatt* - *il* elektrik enerjisi insanların $2 \text{ insan} - \text{Zv}$ -ə bərabər effektiv ekvivalent doza qəbul etməsi hesabına başa gəlir. Məsələn, 1979 -cu ilin hesablamalarına görə kömürlə işləyən bütün elektrik stansiyalarının yaratdığı kollektiv effektiv ekvivalent doza təxminən $2000 \text{ insan} - \text{Zv}$ -ə bərabər olmuşdur (*HKQAP OOH, 1982*).

Qeyd edək ki, fərdi yaşayış evlərində filtr sistemi olmayan sobalarda kömürdən yanacaq kimi istifadə edilməsi radionuklidlərin ətraf mühitə daha çox yayılmasına səbəb olur. Belə ki, evlərin isidilməsi və qida hazırlanması zamanı, elektrik stansiyaları ilə müqayisədə, az miqdarda kömürdən istifadə edilməsinə baxmayaraq, bu halda atmosfərə atılan kömür tozunun miqdarı daha çox olur və insanlar bu halda daha çox şüalanmaya məruz qalırlar. Bunun səbəbi evlərin yaşayış məntəqələrinin mərkəzində

cəmləşməsi və onların, elektrik stansiyaları ilə müqayisədə, alçaq borulara malik olmasıdır.

Son illərə qədər az əhəmiyyət verilən bu vəziyyətin də acınacaqlı nəticələrə səbəb ola biləcəyi bu gün heç bir şübhə doğurmur. Həqiqətən də ilkin hesablamalar son illərdə mənzillərin qızdırılması və qida hazırlanması məqsədi ilə kömürdən istifadə hesabına Yer kürəsi əhalisinin kollektiv effektiv ekvivalent doza şüalanmasının *100000 insan - Zv* -ə qədər artmasını göstərir (*НКДАР ООН, 1982*).

Kömürdən istifadənin yaratdığı fəsadlar bununla bitmir. Belə ki, bir çox ölkələrdə kömür tozundan sement və beton kimi tikinti materialları istehsalında istifadə olunur. Hətta bəzi hallarda betonun tərkibinin 4/5 hissəsini kömür tozu və kömür şlakı təşkil edir.

Kömür şlakı və tozundan, həmçinin də bu günə qədər yol tikintisində istifadə olunur. Kömür tozundan torpağın keyfiyyət tərkibini yaxşılaşdırmaq məqsədi ilə də istifadə olunur. Bütün bunlar isə radiasiya şüalanmasının artması ilə müşayiət olunan lokal çirklənmə zonalarının yaranmasına səbəb olur.

Neft - qaz istehsalı və emalının yaratdığı şüalanma. Neft, əsasən də onun çıxarılması zamanı ayrılan lay suları da texnogen mənşəli radioaktiv çirklənmə mənbələrindən hesab olunur. Daha dəqiq desək, təbii radionuklidlərin ətraf mühitə daxilolma yollarından biri də neft - qaz istehsalı və emalı ilə bağlıdır (*Cəfərov E.S. və başq., 2005; Кирюзина Н.Н., Шахиджанов Ю.С. 2003; Крапивский Е.И., 2004; Романюк С.С. и др., 2001*).

Ölkəmizdə də uzun illərdən bəri neft və qaz istehsal edilməsi və bu zaman bəzi hallarda elementar sanitar normalara riayət edilməməsi ayrı-ayrı yerlərdə neft və lay suları ilə çirklənmiş zonalarının yaranmasına səbəb olmuşdur. Bu baxımdan, həmin ərazilərin radiasiya fonunun qiymətləndirilməsinə, ərazini çirkləndirən radionuklidlərin keyfiyyət və kəmiyyət tərkibinin müəyyənəndirilməsinə həmişə böyük ehtiyac olmuşdur. Son illər Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Radiasiya Problemləri İnstitutunun əməkdaşlarının apardıqları tədqiqat işləri (*Cəfərov E.S. və başq., 2005; Оруджева Дж.Р., Джафаров Э. С., 2002; Гарибов А. А. и др., 2007; Мəммədov Q. Q. və başq. 2010*) Respublikamızın ayrı-ayrı ərazilərində (əsasən də Abşeron yarımadasında) neft istehsalı və emalının yaratdığı lokal radioaktiv çirklənmə zonalarının yerlərini müəyyənəndirməyə, ərazini çirkləndirən radionuklidlərin növ tərkibini və miqdarını təyin etməyə və onların torpaqda paylanma və torpaq-bitki zənciri üzrə miqrasiya etmə xüsusiyyətlərini aydınlaşdırmağa imkan vermişdir. Tədqiqat işlərinin nəticələrindən aydın olmuşdur ki, Abşeron yarımadasının hüdudları daxilində təbii radiasiya fonu orta hesabla *3 – 9 mkR/saat* intervalında dəyişir.

Qeyd edək ki, təbii radiasiya fonu baxımından Abşeron yarımadası Respublikamızın digər bölgələri ilə müqayisədə daha qənaətbəxş olmasına baxmayaraq, Yarımada da radionuklidlərlə bu və ya digər dərəcədə çirklənmiş texnogen xarakterli lokal zonalar üstünlük təşkil edir. Belə ki, bu cür kiçik təbii radiasiya fonu şəraitində ekspozisiya dozasının gücü *500-700 mkR/saat* - a çatan güclü lokal çirklənmə zonaları da mövcuddur. Qeyd edək ki, daha çox neft buruqlarının ətrafında müşahidə olunan və

əsasən kiçik ölçüyə, bəzi hallarda isə $100-200\text{ m}^2$ -ə qədər sahəni əhatə edən belə yüksək radioaktivlikli zonaların yaranmasına səbəb neftlə bərabər yerin dərin qatlarından çıxan radionuklid tərkibli (əsasən, radiumlu) sulardır. Radionuklidlər su ilə bərabər yalnız quyuyətrafı torpağa deyil, həm də xam nefti aparan boruların divarlarına, çökdürücülərə, anbarlara, təmizləyici qurğulara yığılaraq, həmin obyektlərin ətrafında yüksək radiasiya fonu yaradırlar. Özündə müxtəlif təbii radionuklidləri daşıyan buruq suları ən çox Bibiheybət, Qumadası, Suraxanı, Romanı, Binəqədi neft sahələrində radioaktiv çirklənmə zonaları yaratmışdır.

Gərgin radioekoloji vəziyyət bəzi kimya və neftayırma sənayesi obyektlərində də qeydə alınmışdır. Məsələn, Yeni Suraxanı yod zavodunun ətrafında radioaktivliyin $15-500\text{ mkR/saat}$, Romanı yod zavodunun ərazisində isə $15-1000\text{ mkR/saat}$ intervalında olması qeydə alınmışdır (*Cəfərov E.S. və başq., 1992*).

Məlumat üçün bildirək ki, adı çəkilən zavodlarda uzun müddət yod istehsal olunmuş və bu məqsədlə, xammal olaraq, lay sularından istifadə olunmuşdur.

Abşeron yarımadasının palçıq vulkanlarının ərazilərində radioekoloji vəziyyət. Respublikamız Yer kürəsinin palçıq vulkanlarının unikal və klassik inkişaf regionu kimi tanınır. Planetimizdə olan 800 palçıq vulkanından 300-dən çoxu Azərbaycanın şərqində və onunla həmsərhəd Xəzər akvatoriyasında yerləşir.

Palçıq vulkanları, əsasən Qobustan, Abşeron yarımadası və Xəzər dənizinin Cənub-Şərqi Qobustana söykənən hissələrini əhatə edir. Ən aktiv və ən böyük konusvari vulkanlar əsasən Cənubi-Qobustanda və Abşeron yarımadasının yarıboş ərazilərində yerləşmişlər. Ən nəhəng palçıq vulkanları isə Cənubi - Qobustanın Çeyildag, Tourqay, Qoturdağ və Qərbi Qobustanın Axtarma vulkanlarıdır.

Şəkil 6.7 -də Qobustan və Abşeron yarımadasının palçıq vulkanlarından bir neçəsinin təsviri verilmişdir.

Ətraf mühitin çirklənməsində palçıq vulkanları da müstəsna rola malikdir. Onlar ətraf mühitə böyük miqdarda toksiki kimyəvi elementlər səpələyir. Brekçiyanın get-gedə artması və onun kimyəvi tərkibinin zənginləşməsi ətrafda landşaft diferensiasiyasına gətirib çıxarır. Böyük şoranlığı ilə fərqlənən palçıq vulkanlarının suyu da bitkilərə mənfi təsir göstərir. Suyun analizi Abşeron vulkanlarının suyunda natrium-xlorun miqdarının çox olduğunu göstərir (*Əhmədov A.Q.1985*).

Palçıq püskürməsi həm də səthə çoxlu miqdarda mikroelementlər çıxması ilə müşayiət edilir. Mikroelementlərin tərkibində litosferlə müqayisədə $10-100$ dəfə çox olan bor, molibden, qurğuşun üstünlük təşkil edir. Mərkəzi Abşeron vulkanları bu cəhətdən xarakterikdir. Məsələn, litosferlə müqayisədə bor elementinin miqdarı Abix vulkanında 108 , Keyrəki vulkanında 42 , Pilpələ vulkanında isə 50 dəfə çoxdur. Lökbatan vulkanının mikroelement tərkibi isə vanadium, nikel, xrom elementlərinin çox olması ilə fərqlənir (*Əhmədov A.Q. 1976; Əhmədov A.Q.1985*). Adı çəkilən vulkanda bu elementlərin miqdarı başqa vulkanlarla müqayisədə $2-5$ dəfə çoxdur.

Vulkan püskürməsinin radioekoloji vəziyyətə də təsir göstərə biləcəyi nəzərə alınaraq, Qobustan və Abşeron yarımadasının Lökbatan, Qobu - Bozdağ, Ceyranbatan - Keçəldağ, Umbakı - Çeyildag, Umbakı - Axtarma, Qaradağ, Keyrəki, Abix, Kalmaz kimi

böyük pəlçiq vulkanlarının ərazilərində radioekoloji tədqiqat işləri aparılmışdır (Cəfərov E.S. və başq., 2002, Əhmədov A.Q. 1976; Əhmədov A.Q.1985).



Şəkil 6.7. Qobustan və Abşeron yarımadasının pəlçiq vulkanlarından bir neçəsinin təsviri.

Radioekoloji tədqiqat işlərinin nəticələri cədvəl 6.8 -də göstərilmişdir. Ölçü işləri bilavasitə krater zonasında (meydançasında) və brekçiyanın əhatə etdiyi sahənin bir neçə yerində (krater mərkəzindən 100, 200, 500 metr məsafələrdə) aparılmışdır.

Cədvəl 6.8.

Qobustan və Abşeron yarımadasının palçıq vulkanlarının ərazilərində radiasiya fonu.

Vulkanın adı	Radiasiya fonu (mkR/saat)			
	Kraterdə	Kraterdən 100 m aralı	Kraterdən 200 m aralı	Kraterdən 500 m aralı
<i>Lökbatan</i>	23	20	18	17
<i>Otman-Bozdağ</i>	17	15	15	15
<i>Qobu-Bozdağ</i>	18	16	13	13
<i>Qaradağ-Axtarma</i>	15	13	10	10
<i>Ziyilpiri</i>	13	13	10	10
<i>Abix</i>	14	8	8	8
<i>Keyraki</i>	15	10	10	10
<i>Ceyranbatan- Keçəldağ</i>	25	15	8	8
<i>Hamamdağ</i>	13	11	10	8
<i>Bahar</i>	11	11	10	10
<i>Qoturdağ</i>	16	13	13	13
<i>Ayrantökən</i>	14	14	11	11
<i>Daşmərdan</i>	12	12	10	10
<i>Kalmaz</i>	13	8	8	8
<i>Umbakı-Çeyildağ</i>	17	16	16	15
<i>Umbakı-Axtarma</i>	17	15	15	15
<i>Umbakı-Qələndərtəpə</i>	16	14	13	13

Vulkanların krater zonasından götürülmüş palçıq nümunələrinin radiospektrometrik analizi onların tərkibində *U, Ra, Th, K, Eu, Am, Ru, Sb, Ag* kimi izotopların olduğunu göstərdi. Üstünlük təşkil edən *U* izotopu $(1-4) \times 10^{-5}$ q/kq, *Ra, Th, K* izotopları isə uyğun olaraq $(3-14) \times 10^{-7}$ q/kq, $(0,5 - 3,1) \times 10^{-12}$ q/kq və $(0,9 - 2,1) \times 10^{-12}$ q/kq miqdarında olurlar.

Nisbətən yüksək radioaktivliklə xarakterizə olunan palçıq vulkanlarından götürülmüş nümunələrinin xüsusi radioaktivliyi və onlarda üstünlük təşkil edən radioaktiv elementlərin miqdarı cədvəl 6.9 - da göstərilmişdir.

Termal suların yaratdığı şüalanma. İnsanların radiasiya şüalanmasını yaradan mənbələrdən biri də, məlum olduğu kimi, termal sular – isti bulaqlardır. Bir çox Cədvəl 6.9.

Palçıq vulkanlarından götürülmüş nümunələrinin xüsusi radioaktivliyi və onlarda radioaktiv elementlərin miqdarı

Vulkanın adı	Palçıq nümunəsinin xüsusi radioaktivliyi (Bk/kq)	Radioaktiv elementin miqdarı					
		²²⁶ Ra		²³² Th		⁴⁰ K	
		Bk/kq	10 ⁻⁴ %	Bk/kq	10 ⁻⁴ %	Bk/kq	10 ⁻⁴ %
<i>Lökbatan (kraterin üstü)</i>	108,36	71,51	5,79	-	-	469,9	1,58
<i>Lökbatan (kraterdən 50m aralı)</i>	98,76	62,58	5,06	-	-	461,5	1,56
<i>Ceyranbatan (kraterin üstü)</i>	138,75	99,35	8,04	-	-	502,7	1,69
<i>Ceyranbatan (kraterdən 50m aralı)</i>	124,34	85,41	7,07	-	-	491,2	1,42
<i>Umbaki - Çeyildağ (krater)</i>	127,8	93,39	7,56	-	-	438,9	1,48
<i>Qobu-2 (krater)</i>	102,16	58,67	4,75	-	-	554,7	1,87
<i>Keyrəki (krater)</i>	70,83	33,57	2,71	2,78	0,68	428,7	1,44

ölkələrdə müxtəlif vaxtlarda elektrik enerjisi istehsalında və evlərin qızdırılmasında bu formada isti su və buxar ehtiyatlarından istifadə edilmişdir. Belə mənbələrdən biri XX əsrin əvvəllərindən bu günə qədər İtaliyanın Larderellodakı elektrik stansiyasının turbinini fırladır. Adı çəkilən elektrik stansiyasında və İtaliyanın digər iki kiçik stansiyasında radonun emissiyasının ölçülməsi göstərdi ki, istehsal olunan hər *Qiqavatt - il* enerji ərazidə yaşayan əhali üçün *6 insan - Zv* kollektiv effektiv ekvivalent doza hesabına başa gəlir ki, bu da, kömürlə işləyən elektrik stansiyalarının yaratdığı dozadan təxminən 3 dəfə çoxdur.

Qeyd edək ki, bu gün geotermal mənbələrin hesabına işləyən energetik qurğuların gücü ümumi energetik qurğuların gücünün *0.1%* - ni təşkil etdiyindən, geotermal enerjinin əhalinin ümumi radiasiya şüalanmasına verdiyi pay da çox böyük deyil. Bu enerji növünün ehtiyatlarının kifayət qədər çox olmasını və gələcəkdə ondan geniş istifadə etmək perspektivlərinin ortaya çıxma biləcəyini nəzərə alsaq, onda geotermal energetikanın radiasiya şüalanmasına verə biləcəyi payın böyük ola biləcəyi fikrini əvvəlcədən söyləmək mümkündür.

Fosforit emalı və onun məhsullarının yaratdığı şüalanma. Fosforit yataqları nisbətən yüksək konsentrasiyalı *uran - 238, torium - 232* və onların parçalanma məhsullarına, həmçinin də *kalium – 40* qarışığına malik olur.

Məlumdur ki, fosforitlərdən həm gübrə istehsalında, həm də fosfat turşusu kimi bəzi məhsulların istehsalında istifadə olunur. Fosforitlər həmçinin fosfogips, başqa sözlə desək, kimyəvi gips kimi tikinti materiallarının tərkibinə daxil olur. Ona görə də tərkibində fosforit olan fosfor gübrələri və müxtəlif tikinti materialları potensial şüalanma mənbələri hesab olunur. Bu baxımdan fosfor gübrələri səpilmiş sahələr, tərkibində fosforitlər olan məhsulların saxlanıldığı anbarlar, fosfor gübrələri istehsal edən zavodlar və s. xarici şüalanma mənbələri ola bilər.

Qeyd edək ki, təkcə 1977-ci ildə *30 milyon ton* bu cür gübrə istehsal edilmişdir. Bu gübrələrdən uzun müddət istifadə torpaqda uranın, toriumun və onların ailə üzvlərinin miqdarının *0.25 -1%* -ə qədər artmasına səbəb olmuşdur.

Hesablamalar göstərir ki, fosfor gübrələrinin yarada biləcəyi kollektiv doza *1t* hazır məhsul üçün adam başına $3 \cdot 10^{-6}$ *Qr* təşkil edir (*НКДАР ООН, 1982*).

Məlum olmuşdur ki, hal - hazırda istismarda olan fosfat yataqlarının çoxunda kifayət qədər yüksək konsentrasiyalı uran mövcuddur. Ona görə də yatağın işlənməsi və məhsulun alınması prosesində radon qazının ayrılması ilə yanaşı, istehsal olunan gübrənin özü də radionuklid tərkibə malik olur. Gübrə vasitəsilə torpağın radioaktiv çirklənməsi, əsasən də gübrənin torpağa maye halında verilməsi, onun radiasiya səviyyəsinin müntəzəm artmasına və son nəticədə radionuklidlərin torpaqdan bitkilərə keçməsinin intensivləşməsinə səbəb olur.

Fosforlu gübrələrin istifadəsinin yaratdığı radioekoloji problemlər bununla bitmir. Bu gübrələri istehsal edən müəssisələrin özlərinin fəaliyyəti də müəyyən radioekoloji problemlər yaradır. Müəyyən edilmişdir ki, fosforlu gübrələri istehsal edən müəssisələrin fəaliyyəti yerüstü atmosferdə uranın, radiumun, radonun və toriumun konsentrasiyasının, onların təbii konsentrasiyaları ilə müqayisədə, *2 -14* dəfəyə qədər artmasına səbəb olur. Həmçinin də, gübrə istehsalı prosesində maye tullantıların ətrafa atılması və həmin tullantılardan fosfogips, şlak kimi tikinti materialları hazırlanması ətraf mühit üçün əlavə çirklənmə mənbəyi rolunu oynayır.

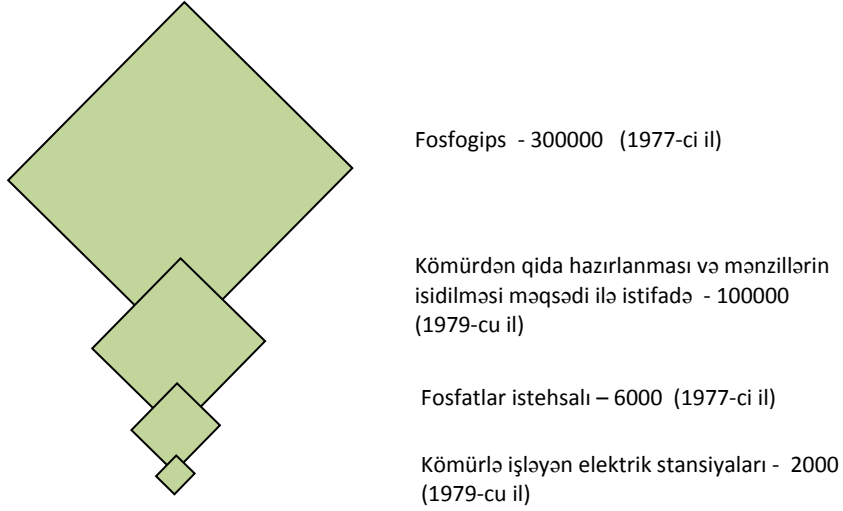
Tikinti materialı kimi təbii gipsin əvəzində fosfogipsdən istifadənin şüalanma yaratmasına səbəb, təbii gipslə müqayisədə, onun tərkibində ^{226}Ra izotopunun və onun parçalanma məhsullarının (^{222}Rn də daxil olmaqla) konsentrasiyasının kifayət qədər çox olmasıdır. Bu halda radiumun γ -şüalanmasının yaratdığı xarici şüalanmaya, həm də radonla nəfəsalma hesabına yaranan daxili şüalanma əlavə olunur. Fosfogipsdən tikintidə istifadə olunması hesabına hər ton filiz üçün adambaşına düşən kollektiv doza $2 \cdot 10^{-2}$ *Qr* -ə çata bilər.

Fosfatlardan geniş istifadənin digər tətbiq sahəsi onların kənd təsərrüfatı heyvanlarının yemində əlavə olunmasıdır. Aydın ki, heyvanların fosfat tərkibli yemlə qidalanması onların ət və südündə radionuklidlərin miqdarının kifayət qədər artmasına səbəb olmalıdır.

ARTEK -in hesablamalarına görə fosfatların tətbiqinin hər iki sahəsi ümumilikdə

il ərzində orta hesabla 6000 insan - Zv -ə bərabər kollektiv effektiv ekvivalent doza yaradır. Müqayisə üçün qeyd edək ki, təkcə 1977 -ci il ərzində fosfogipsin istifadəsi 300000 insan - Zv qədər doza yaratmışdır (HKДАР ООН, 1982).

Səkil 6.8-də sadalanan proseslərdə insanların məruz qaldığı şüalanmalardan gözlənilən effektiv dozalar müqayisə edilmişdir.



Şəkil 6.8. Bir il ərzində gözlənilən effektiv dozalar (insan-Zv -lərlə).

Tikinti materiallarının yaratdığı şüalanma. Əvvəlki fəsildə qeyd etdiyimiz kimi, tikinti materiallarında radionuklidlərin miqdarı geniş intervalda (2 -dən 4700 Bk/m^3 -ə qədər) dəyişə bilər. Belə ki, tikinti daşının radioaktivliyi onun hansı dağ süxurundan olması ilə müəyyən edilir. Təbii radionuklidlərin ən yüksək xüsusi aktivliyi vulkanik mənşəli süxurlar (qranit, tuf, pəmza) üçün, ən aşağı xüsusi aktivliyi isə karbonatlı süxurlar (mərmər, əhəngdaşı) üçün xarakterikdir. Qum və çınqıl isə, adətən, yer qabığı və torpaq üçün xarakterik olan orta radioaktivliyə malik olur.

Həm keramzit, həm də gil və qırmızı kərpic çox da böyük olmayan yüksək radioaktivliyə malik olur. Məsələn, qırmızı (gilli) kərpicin xüsusi radioaktivliyi silikat kərpicin xüsusi aktivliyindən bir neçə dəfə böyük olur.

Betonun xüsusi radioaktivliyi də, doldurucunun növündən və onun radionuklid tərkibindən asılı olaraq, geniş intervalda dəyişə bilər.

Tikintidə istifadə olunan materiallar çoxlu sayda olduğundan, onlarda radionuklidlərin miqdarı da geniş intervalda dəyişir. Həmçinin də otaqlarda geometrik şüalanma şəraiti fərqləndiyindən, tikinti materiallarında olan təbii radionuklidlərdən insanların şüalanma səviyyəsini qiymətləndirmək kifayət qədər çətin olur.

Cədvəl 6.10 -da ən geniş yayılmış tikinti materiallarının tərkibinə daxil olan təbii radionuklidlərin otaq daxili havada yaratdığı γ -şüalanmanın udulma dozasının gücünün təxmini qiymətləri öz əksini tapmışdır (Барсуков О.А., Барсуков К.А. , 2003).

Cədvəl 6.10.

Otaq havasında müxtəlif tikinti materiallarının tətbiqinin hesabına yaranan γ -şüalanmanın udulma dozasının gücü.

Tikinti materialı	Udulma dozasının gücü, 10^{-8} Qr/saat	Tikinti materialı	Udulma dozasının gücü, 10^{-8} Qr/saat
Mərmər	28-45	Əhəngdaşı	5
Vulkanik tuf,	24	Gips	4
Kərpic	16-33	Ağac	< 0.4
Beton	15-21		

Cədvəlin təhlilindən aydın olur ki, tikinti materiallarını onların radiasiya təsirinə əsasən 3 qrupa bölmək olar. Birinci qrupa mərmər, vulkanik tuf, kərpic və beton daxildir ki, bunların da yaratdığı udulma dozasının gücü $(15 - 45) \cdot 10^{-8} \text{ Qr/saat}$ -a bərabər olur. İkinci qrupa doza gücü bir tərtib kiçik olan əhəngdaşı və gips aid edilir. Üçüncü qrupa isə ağac növlü materiallar aid edilir ki, bunların da doza gücü daha bir tərtib kiçik olur.

Hesablamalar göstərir ki, daş binaların daxilində və xaricində olan havada udulma dozası gücünün nisbətləri 1.3 olduğu halda, bu nisbət ağac tikililərdə 0.7 olur. Belə çıxır ki, ağac tikililərdə yaşamaq ekoloji cəhətdən daha əlverişlidir.

Gündəlik tələbat mallarının yaratdığı şüalanma. Qeyd edək ki, şüalanma mənbəyi rolunu bir çox gündəlik tələbat malları da oynaya bilər və bu malların içərisində kifayət qədər intensiv şüalanma yarada bilən məhsullar da mövcuddur. Təbii radionuklidlərə malik bu mallara bəzi hallarda radioizotoplar məqsədyönlü daxil edilir. Bu tip məhsullara misal olaraq, *radium* - 226 və ya *tritium* daxil edilmiş işıqsız saatlar, *uran* və ya *torium* tərkibli keramika, farfor - şüşə məmulatları, *polonium* – 210 izotopuna malik antistatik vasitələr, *radium* və *amerisium* malik tüstü detektorlarını göstərmək olar. Bu tip tələbat mallarına, həmçinin radioaktiv mənbələr daxil edilmiş və elektronların tormozlanması zamanı şüalanma yaradan elektron və elektrik məmulatlarının böyük bir qrupunu da aid etmək olar.

Adları çəkilən tələbat mallarının yaratdıqları şüalanma dozaları üzərində ətraflı dayanmaq. Gündəlik tələbat mallarından ən geniş yayılanı orqanizmin ümumi şüalanmasını yaradan, işıq saçan siferblatı olan saatlardır. Bu saatları düzəldərkən, adətən, *radiumdan* (Ra^{226}) istifadə edilir ki, o da, yuxarıda qeyd edildiyi kimi, α - zərrəciklərdən başqa, həm də γ -kvantlar şüalandırır. Adı çəkilən saatlar AES -lərdə sızmaların yaratdığı şüalanmadan ~ 4 dəfə çox olan illik şüalanma dozası yaradır. Bu miqdarda kollektiv effektiv ekvivalent dozanı atom sənayesi müəssisələrinin işçiləri və avialaynerlərin ekipajı qəbul edir.

Bu zaman siferblatdan $1m$ məsafədə şüalanma $1sm$ məsafədəki şüalanma ilə müqayisədə 10000 dəfə zəif olur. 70 -ci illərin sonuna qədər Böyük Britaniyanın əhalisində istifadə olunan 800000 -ə qədər radiumlu saat olmuşdur. 1967 -ci ildə uyğun Beynəlxalq Standartlar qəbul olunmasına baxmayaraq, bu günə qədər də bu saatlardan istifadə olunur.

Qeyd edək ki, əksər ölkələrdə cib saatlarında *radium* – 226 izotopundan istifadəyə qadağan qoyulmuşdur. Hal - hazırda şüalanmanı azaltmaq məqsədi ilə radiumu tritiumla əvəz etməyə cəhdlər edilir.

Radium əsasında quraşdırılmış zəngli saatlardan istifadə edənlər üçün illik udulma dozası cinsiyyət orqanları üçün $10^{-6} Qr$ qəbul edilmişdir. Zəngli saatlardan istifadə zamanı xarici şüalanma ilə yanaşı, radium və onun qız elementlərinin parçalanması zamanı yaranan α -zərrəciklərin nəfəs yollarına daxil olması nəticəsində, həm də daxili şüalanma mümkündür. Bu yolla qəbul olunan doza ildə təxminən $10^{-6} Qr$ -ə bərabərdir.

Tritium əsasında işləyən saatlardan istifadə nisbətən az təhlükəlidir. Belə ki, qeyri - stabil tritium β - parçalanmaya uğrayır və bu şüalanmanın tam orqanizm üçün yaratdığı udulma dozası ildə $0.5 \cdot 10^{-5} Qr$ - i aşmır.

Şüşə və fosfordan olan məmulatlara misal olaraq, nisbətən yüksək uran və torium tərkibinə malik optik linzaları və diş protezlərində istifadə olunan uran daxil edilmiş farforu göstərmək olar. Birinci halda göz büllurunun, ikinci halda isə ağız boşluğunun nisbətən yüksək doza ilə şüalanması mümkündür. Müəyyən edilmişdir ki, bu cür materiallardan istifadə zamanı ağız boşluğunun epiteliya təbəqəsində udulma dozası ildə $0.03 Qr$ -ə çata bilər. Qeyd etmək yerinə düşərdi ki, bəzi ölkələrdə fosfor protezlərin hazırlanması zamanı uran və toriumdan istifadə qadağan edilmişdir.

İonlaşdırıcı şüalanma mənbəyi rolunu oynayan elektron və elektrik avadanlıqlarına gəldikdə onu qeyd etmək lazımdır ki, bu cihazları işləmə rejiminə salmaq üçün əvvəlcədən ionlaşdırmaq lazım gəlir. Məsələn, flüoressent lampaları alışıdırmaq üçün istifadə olunan start mexanizmi hansısa radioaktiv elementə malik olur. Analoji üsuldən triqer borularda, tüstü detektorlarında və s. istifadə olunur. Hesab edilir ki, adiçəkilən qurğuların normal istismarı zamanı udulma dozası kiçik olur və yüksək dozanın qəbul edilməsi yalnız qəza zamanı mümkün olur.

Radioaktiv izotoplardan həmçinin də işıqsaçan giriş - çıxış göstəricilərində, kompaslarda, telefon diskələrində, nişangahlarda və s. istifadə edilir.

ABŞ -da tozu foto lövhədən və digər foto ləvazimatlardan təmizləmək üçün antistatik daraqlardan istifadə olunur. Bunların təsiri isə α - zərrəciklərin şüalanmasına əsaslanmışdır.

Müxtəlif tüstü detektorlarının işləmə prinsipi də α - şüalanmadan istifadəyə əsaslanıb. 1980 -ci ilin sonuna qədər ABŞ -da tərkibində *amerisium* - 241 izotopu olan *26 mln*. Bu cür detektorlar quraşdırılmışdır.

Radionuklidlərdən həm də flüoressent lampaların drossellərində, müxtəlif elektrik cihaz və qurğularında istifadə olunur. 70 -ci illərin sonunda təkcə Qərbi Almaniya istismarda olan bu cür *100 mln*. -a qədər müxtəlif cihazlar var idi.

Bu cür misalların sayını kifayət qədər artırmaq olar. Məsələn, xüsusi nazik optik linzaların hazırlanması zamanı radioaktiv maddə olan toriumdan, süni dişlərə parıltı vermək üçün isə urandan istifadə olunur. Belə linzalardan istifadə göz bülürünün, dişlərə parıltı verilməsi isə ağız boşluğu hüceyrələrinin əhəmiyyətli dərəcədə şüalanmasına səbəb olur.

Böyük Britaniyanın Radiasiyadan Mühafizə üzrə Milli Şurası urandan süni dişlərə parıltı vermək məqsəd ilə istifadə edilməsinə qadağan qoymuşdur. Diş farforu daha çox istehsal olunan ABŞ və Almaniya isə onun yol verilən həddi müəyyənləşdirilmişdir.

Təyyarə uçuşları zamanı qəbul olunan şüalanma. Qalaktik kosmik şüaların udulma dozasının gücünün atmosferin müxtəlif təbəqələrində müxtəlif olması müəyyən edilmişdir. Hava təbəqəsinin hündürlüyündən asılı olaraq udulma dozasının gücünün dəyişməsi cədvəl 6.11 -da göstərilmişdir.

Cədvəldə udulma və ekvivalent doza gücünün iki müxtəlif geomaqnit en dairəsi (43° və 55°) və Günəş aktivliyinin maksimal və minimal dövrləri üzrə orta qiymətləri göstərilmişdir.

Təqdim olunan nəticələrdən aydın olur ki, hündürlüyün artması ilə doza gücünün qiymətləri kəskin artır. Məsələn, hündürlüyün 4 km -dən 12 km -ə qədər dəyişməsi udulma dozasının gücünü 30 , ekvivalent dozanın gücünü isə 25 dəfə artırır. Bundan əlavə, təyyarələrin adətən uçduğu 10 km -lik hündürlükdə udulma dozasının gücü (3.01 mkQr/saat), Yer in səthi üçün uyğun qiymətlə (0.032 mkQr/saat) müqayisədə, 100 dəfə çox olur. Belə çıxır ki, aviasiya daşımaları zamanı sərnəşinlər yüksək şüalanmaya məruz qalırlar.

Cədvəl 6.11.

Qalaktik kosmik şüalanmanın doza gücünün hündürlükdən asılı dəyişməsi.

Yüksəklik, km	Udulma dozasının gücü, mkQr/saat	Ekvivalent dozanın gücü, mkZv/saat	Yüksəklik, km	Udulma dozasının gücü, mkQr/saat	Ekvivalent dozanın gücü, mkZv/saat
4	0.14	0.20	14	4.62	7.56
6	0.33	0.51	16	5.92	9.70
8	0.84	1.35	18	7.09	11.64
10	1.75	2.88	20	7.72	12.75
12	3.01	4.93			

Cədvəl 6.12 - də Rusiyanın bir neçə intensiv aviamarşrutları üzrə ekvivalent dozaya uyğun qiymətlər göstərilmişdir. Təqdim olunan nəticələrdən aydın olur ki, səsdən iti sürətlə hərəkət edən təyyarələrdə uçuş zamanı şüalanma dozası kiçik sürətli təyyarələrdə uçuş zamanı yaranan şüalanma dozasının $66 - 78\%$ -ni təşkil edir (buna

səbəb həmin təyyarələrdə uçuş müddətinin az olmasıdır). Buna baxmayaraq, doza gücü birinci halda ikinci hala nisbətən kifayət qədər çox olur.

Cədvəl 6.12.

Günəş aktivliyinin minimal periodu ərəfəsində seçilmiş bəzi marşrutlar üzrə ekvivalent doza göstəriciləri.

Uçuşun kreyser yüksəkliyi, km	Marşrut	Təyyarənin uçuş müddəti, saat		Uçuşa görə ekvivalent doza, mkZv	
		Səs sürətindən kiçik	Səs sürətindən böyük	Səs sürətindən kiçik	Səs sürətindən böyük
10.6	<i>Moskva - Soçi</i>	2.25	-	16.2	-
	<i>Moskva - Ufa</i>	2.00	-	16.9	-
	<i>Moskva - Murmansk</i>	2.25	-	24.2	-
	<i>Moskva - Alma-Ata</i>	4.25	2.0	42.0	32.0
	<i>Moskva-Krasnoyarsk</i>	4.40	2.1	60.8	42.8
12.1	<i>Moskva-Yakutsk</i>	6.30	3.10	112	82.5
17.0	<i>Moskva - Xabarovsk</i>	8.00	3.40	96.0	62.7
	<i>Moskva - Anadır</i>	8.15	4.00	140	100
	<i>Moskva – Petropavlovsk Kamçatskiy</i>	8.45	4.20	110	78.0

Aviasiya normativlərinə əsasən uçuşlar həyata keçirilərkən 2 əsas radiasiya səviyyəsi daimi nəzarətdə olur. Bunlardan biri *100 mkZv/saat* -a bərabər işçi nəzarət səviyyəsidir ki, radiasiya səviyyəsi bu qiymətə çatan kimi pilot uçuş yüksəkliyini azaltmaq üzrə tədbirlər həyata keçirməyə hazırlaşır. *500 mkZv/saat* -a bərabər ikinci səviyyə halında artıq konkret tədbirlər görülür. Daha dəqiq desək, radiasiya səviyyəsi bu qiymətə çatan kimi pilot daha aşağı uçuş hündürlüyünə keçməklə sərnişinlərin radiasiya təhlükəsizliyi təmin edir.

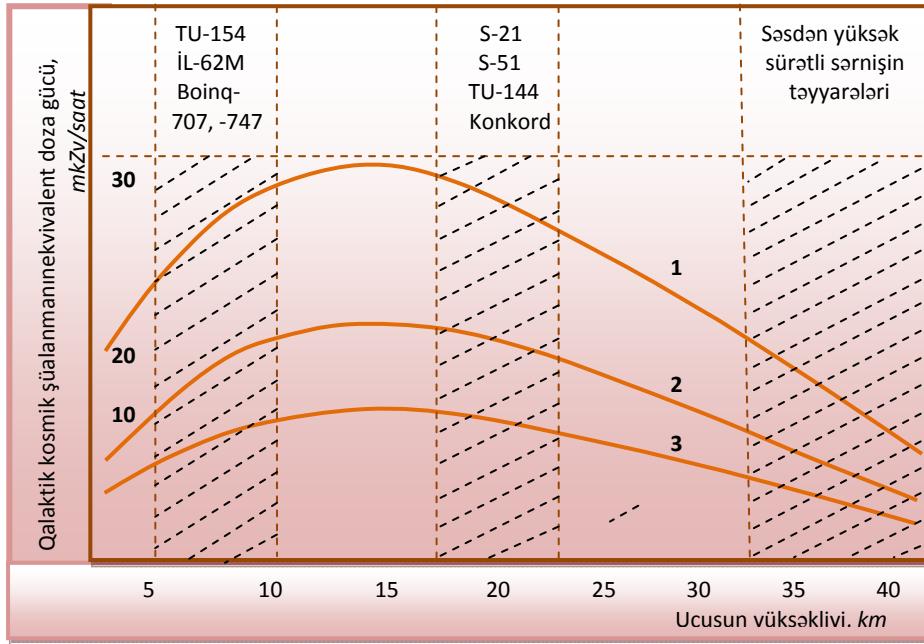
Şəkil 6.9 -də uçuş zamanı təyyarənin salonunda şüalanmanın udulma dozasının gücünü əks etdirən dozimetr təsvir olunmuşdur.

Göründüyü kimi, dozimetrin göstərişi (*200 mkZv/saat*) təbii radiasiya fonuna uyğun udulma dozasının gücü (*5-15 mkZv/saat*) ilə müqayisədə əhəmiyyətli dərəcədə yüksəkdir.

Şəkil 6.10 - da təyyarələrin uçuş yollarında kosmik radiasiyaya dair ədəbiyyat materiallarının nəticələri (*Баранников Ю.И. и др.,1986; Баранников Ю.И.*



Şəkil 6.9. Uçuş zamanı təyyarənin salonunda şüalanmanın udulma dozasının gücü.



Şəkil 6.10. Ayrı-ayrı ərazilərdə ekvivalent doza gücünün hündürlükdən asılılığı.

u dp.,1987; Akatov Yu. A., 1993; Montagne C. et al.,1993) ümumiləşdirilmişdir. Burada qalaktik kosmik ekvivalent doza gücünün hündürlükdən asılılığı ayrılıqda həm polyar (1 əyrisi) və orta enlik (2 əyrisi), həm də ekvatorial rayonlar (3 əyrisi) üçün göstərilmişdir.

Şəkildən görüldüyü kimi, Tu-144, Konkord, C-21, C-51 kimi səsdən iti sürətlə hərəkət edən yüksəklik təyyarələrinin uçuşlarının kreyser yüksəklikləri (15-19 km) məhz atmosferdə kosmik radiasiyanın maksimum səviyyəsinə uyğun gəlir. Dediklərimizdən aydın olur ki, bu sinifdən olan təyyarələrdə sərnişinlər uçarkən radiasiya təsiri baxımından ən əlverişsiz şəraitdə olurlar. Uçuş hündürlüyü 8-12 km olan TU-154, İL-62M, Boinq-707, Boinq-747 və bu sinfə daxil olan uçuş aparatlarında sərnişinlər nisbətən az (~ 30 - 50 %) şüalanmaya məruz qalırlar.

Yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi, kosmik radiasiya səviyyəsinə ekspress nəzarət Şar - Zond aparatları vasitəsilə həyata keçirilir. 50 -ci illərin ikinci yarısından başlayaraq SSRİ EA sistemində (hal-hazırda Rusiya EA) Murmansk, Moskva, Alma - Ata və Antarktidada yerləşdirilmiş strotosferin requlyar zond şəbəkəsi fəaliyyət göstərir. Qlobal miqyasda qalaktik kosmik şüalanma səviyyələri arasında genetik əlaqənin olmasını nəzərə alaraq, rahat geofiziki şəraitdə bir neçə strotosfer zondları stansiyalarından alınmış nəticələrin əsasında istənilən təyyarə marşrutları boyunca radiasiya vəziyyətini qiymətləndirmək olur.

Verilmiş h hündürlüyü və konkret φ en dairəsi üçün atmosfer zondunun verdiyi nəticələrə əsasən kosmik şüalanmanın ekvivalent doza gücünü – $P(h, \varphi)$ -ni təyin etməklə, təyyarədə uçarkən sərnişinlərin t uçuş müddəti ərzində aldıkları yekun ekvivalent dozanı (D) aşağıdakı düsturun köməyi ilə müəyyənləşdirmək olar:

$$D = \int_T P[h(t) \cdot \varphi(t)] \cdot dt .$$

Burada $h(t)$ və $\varphi(t)$ təyyarə uçuşları marşrutlarının, uyğun olaraq, yüksəklik və en profilləridir.

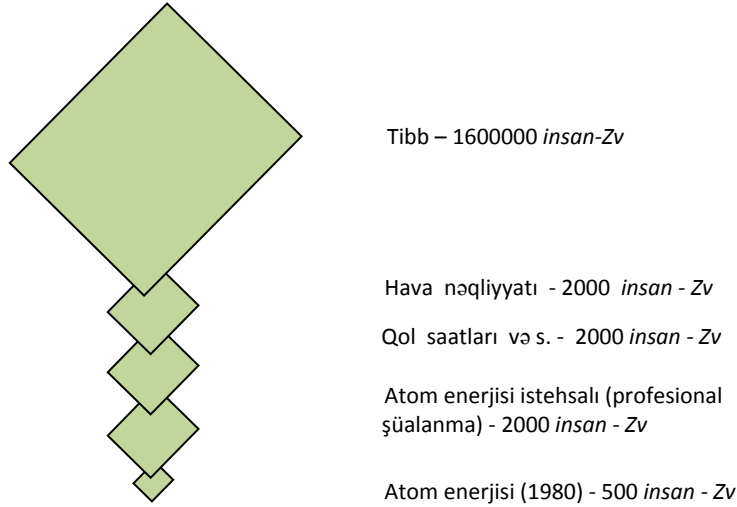
Bu üsulla həmçinin təyyarə marşrutları üzrə radiasiya vəziyyətinin uzun müddətli proqnozunu vermək, kosmik şüalanmanın təyyarə ekipajına və sərnişinlərə mümkün təsirini qiymətləndirmək olur.

Aydındır ki, belə hesablamalarda Günəş aktivliyinin yüksəlməsi nəticəsində zərrəciklər selinin atmosfərə daxil olmasının yaratdığı əlavə şüalanma dozası da nəzərə alınmalıdır.

Nəzərə alsaq ki, Günəş partlayışları tamamilə təsadüfi xarakter daşıyır və bu prosesdə zamandan asılı qanunauyğunluq mövcud deyildir, onda uçuş zamanı yarana bilən şüalanmanı yalnız təxmini qiymətləndirməklə proqnozlaşdırmaq olar. Bu zaman Günəşi fasiləsiz müşahidə edən stansiyalar şəbəkəsinin partlayışlar barədə verdiyi məlumatlar xüsusi peyklərdən alınan radiometrik qiymətlərin verilməsinə imkan verir.

Sonda müxtəlif mənbələrdən bir ildə qəbul olunan gözlənilən effektiv ekvivalent dozaları ümumiləşdirməklə müqayisə etsək, maraqlı mənzərənin şahidi olarıq (şəkil 6.11).

Belə ki, şəkildən də göründüyü kimi, insanların müxtəlif mənbələrdən aldıkları şüalanma dozasının əsas hissəsini tibbi müayinə zamanı istifadə olunan ləvazimatlar yaradır. Digər maraqlı fakt işıqsaçan siferblatı olan saatlardan alınan şüalanmanın atom enerjisi istehsalında işçi personalın aldığı professional şüalanmaya və hava nəqliyyatından istifadə zamanı yaranan şüalanmaya bərabər olmasıdır.



Şəkil 6.11. Bir il ərzində gözlənilən effektiv dozaların müqayisəsi.

6.2. Geopatogen zonalarla bağlı şüalanma mənbələri

Yer səthində insan orqanizmi üçün təhlükə yarada bilən ərazilərin olması keçən əsrdən məlum idi. Bu gün həmin yerlər "geopatogen zonalar" (GPZ) adlanır (*geo* - yer, *patogen* – xəstəlik yaradan mənasını verir). Deməli, "patogen zonalar" sözü hər kəsin başa düşə biləcəyi dildə "xəstəlik yaradan ərazilər" mənasını verir. Belə ərazilərə bitkilərin inkişafını ləngidən, heyvanların xəstələnməsinə səbəb olan, insanların sağlamlığına mənfi təsir göstərən ərazilər aid edilir. Qədim insanlara belə yerlər məlum olduğundan, onlar həmin ərazilərdə məskunlaşmamağa çalışıblar. Belə ki, tikililərini bu yerlərdən uzaqda salıblar, heyvanlarını həmin ərazilərdə otarmayıblar, həmin yerlərdən meyvə yığmayıblar və təsərrüfat ehtiyacları üçün həmin yerlərin meşəsindən istifadə etməyi blər.

Bu gün GPZ dedikdə təbiəti elmə məlum olmayan geofiziki hadisə törədə bilən ərazi başa düşülür. Cihazlar GPZ -də oksigenin mənfi yüklənmiş zərrəciklərinin sayının kəskin azalmasını göstərir. Hələ XX əsrin əvvəllərində GPZ -lərin mövcudluğunu Yer şüalanması ilə əlaqələndirirdilər. Hətta məşhur Danimarka fiziki Maks Plank Yer şüalanmasını tədqiq edən institut da açmışdı. Tədqiqatların nəticələrindən aydın

olmuşdur ki, Yer in bu formada şüalanmasını, praktiki olaraq, ekranlaşdırmaq olmur və Yer in səthindən uzaqlaşdıqca bu şüalar, demək olar ki, zəifləmir.

Bu fenomenə dair fikirlərin birində deyilir ki, adı çəkilən zonaları neytrondan çox-çox kiçik olan elementar zərrəciklər seli deşib keçir. Qeyd olunur ki, "Yer şüalanması" bir sıra parametrlərinə görə kosmik şüalanmaya oxşayır. Bu şüalanmada da α -, β - və γ - şüalar iştirak edir. Digər bir fikrə əsasən, bu şüalanmaya səbəb kosmik şüaların Yer səthinin çatlarına daxil olması və zərrəciklərin yeni emissiyasını yaratmasıdır.

Qeyd edək ki, bütün hallarda GPZ - lərin yaranmasını alimlər Yer qabığının qeyri-bircinsliliyi ilə əlaqələndirirlər. Bura yeraltı qaya süxurlarında yaranan çatlar, süxurları asanlıqla həllolunabilən karst boşluqlar, qədim su vadiləri, qurumuş su hövzələri, gizli su axınları, faydalı qazıntı yataqları və s. aiddir. Bu ərazilərdə mühitin, demək olar ki, bütün geofiziki parametrləri (radiasiya fonu, havanın ionlaşma dərəcəsi, geomaqnit sahənin şaquli toplananı, atmosfer elektrik potensialı və s.) fərqli olur.

Bolqar həkimi Saraçevanın tədqiqatları göstərmişdir ki, bu zonalarda yaşayan insanların 86 % -də nəbz in sürətlə vurması, arterial qan təzyiqinin artması, ürək aritmiyası baş verir. Ərazidə yaşayan əhali arasında skleroz və astma hallarının çoxluğu da bu zonaların təsiri ilə izah olunur (Усманов С.М., 2001).

Alman alimlərinin tədqiqatlarının nəticələrindən aydın olmuşdur ki, belə təsir nəticəsində insan dərisinin elektrik müqaviməti, qanın biokimyəvi analizinə dair göstəricilər dəyişir və qısa zamanda qan nümunələrinin koagulyasiyası baş verir (Усманов С.М., 2001).

Qeyd edək ki, bitki və heyvanların "Yer şüalanmasına" (GPZ -lərə) reaksiyası eyni olmur. Onların bəziləri üçün həmin mühit əlverişli olsa da, digərləri bu mühitə uyğunlaşa bilmirlər. Məsələn, alma, armud, cökə, fındıq, fıstıq kimi ağac bitkiləri, yəmən, azaliya, beqoniya, kaktus kimi dekorativ bitkilər üçün GPZ - lər əlverişli mühit hesab olunmur. Palıd, küknar, şam, qara şam, həmçinin də gavalı, albalı, ərik kimi meyvə ağacları və asparaqus, araliya belə zonalarda daha yaxşı inkişaf edir (Усманов С.М., 2001).

İtlər və pişiklər də "Yer şüalanmasına" müxtəlif formada reaksiya göstərirlər. Birincilər belə zonalarda qalmağa daha çox üstünlük verirlərsə, ikincilər isə həmin zonalarda qalmırlar və dərhal oradan uzaqlaşmağa çalışırlar. Fikirləşmək olar ki, ev heyvanlarının reaksiyasına əsasən GPZ -lərin yerini müəyyənləşdirmək olar, lakin bu halda nəzərə almaq lazımdır ki, it və pişiklərin sahiblərinə olan münasibəti onların hər yerdə, o cümlədən də həmin zonalarda sahiblərinin yanında qalmasına səbəb olur.

Son illər Rusiya alimlərinin səyi nəticəsində Sank - Peterburq şəhərinin GPZ - lərinin xəritəsini müəyyənləşdirmək mümkün olmuşdur. Qeyd edək ki, buna oxşar tədqiqatlar hələ ki, dünyanın heç bir yerində aparılmamışdır və tədqiqatlara səbəb Sank - Peterburq şəhərinin güclü çatlar şəbəkəsi üzərində yerləşməsi olmuşdur. Şəhərin çoxlu sayda bu işə cəlb olunmuş həkimlər briqadası yüzlərlə şəhər poliklinikalarını, minlərlə yaşayış evlərini və müəssisələri əhatə edən bir milyona yaxın insanı müayinədən keçirmişlər. Statistika heç də xoşagələn olmamışdır. Bəzi evlərdə sakinlərin

xəstələnməsi və ölüm halları şəhər üzrə orta rəqəmlə müqayisədə 5, 10 hətta 20 dəfə çox olmuşdur. Aydın olmuşdur ki, həmin evlər məhz yeraltı çatların üzərində yerləşmişlər. Böyük bir müəssisənin tikintisində iştirak edən fəhlələr arasında ölüm halının, onların başqa ünvanda işləyən yoldaşları ilə müqayisədə, 11 dəfə çox olması faktının araşdırılması isə göstərmişdir ki, həmin müəssisə qurumuş su hövzəsi üzərində tikilmişdir.

Bundan başqa, Leningrad vilayətinin "Ruçi" sovxozunun şitilçilik təsərrüfatında tədqiqatlar apararkən müəyyən edilmişdir ki, plantasiyanın müəyyən bir hissəsində toxumların cücəməsi ləngiyir və xiyarın məhsuldarlığı aşağı düşür. Tədqiqatçıların fikrincə, bunun da səbəbi GPZ - lərdir.

Avtomobil qəzalarının çoxluğunun səbəbini də GPZ -lərdə görürlər. Qəza olan yerlərdə qəzanın səbəbini GPZ -lərin sürücülərin psixi və fiziki vəziyyətinə mənfi təsiri ilə izah edirlər. Bu səbəbdən də, bir çox ölkələrdə, hətta bu sahədə vəziyyət yaxşı olan halda belə, avtomagistral yollarının qəza halları tez - tez təkrarlanan hissələri xüsusi nişanlarla təmin olunurlar. Avtomagistral yolunun avropa təhlükəsizliyi standartlarına uyğun inşa olunmasına baxmayaraq, Leningrad vilayətinin Murmans şossesinin ayrı - ayrı hissələrində avtomobil qəzaları, başqa yerlərlə müqayisədə, 4 dəfəyə qədər çox olur. Dövlət Avtomobil Müfəttişliyinin verdiyi bu statistik məlumatdan xeyli əvvəl həmin ərazinin də GPZ olmasını E.Melnikov söyləmişdir. Belə ki, o, uran axtarışı ilə məşğul olmuşdur və ona Murmansk şossesinin uran əraziləri ilə kəsişməsi məlum idi (Усманов С.М., 2001).

7.1. Təbii radiasiya fonu və Yer biosferi üçün onun əhəmiyyəti

Artıq qeyd etdiyimiz kimi, Yer biosferi, fasiləsiz olaraq, kosmik şüaların və dağ süxurlarının, yeraltı su mənbələrinin, çayların, dənizlərin, okeanların, atmosfer havasının, canlı orqanizmlərin tərkibinə daxil olan çoxlu miqdarda radionuklidlərin yaratdığı α -, β -, γ - şüaların təsirinə məruz qalır. Sadalanan şüalanmalar toplusu Yer in səthində müəyyən radiasiya səviyyəsi formalaşdırır ki, həmin radiasiya səviyyəsi də Yer in radiasiya göstəricisi kimi qəbul olunur və təbii radiasiya fonu (TRF) adlandırılır.

Təbii radiasiya fonu haqqında geniş məlumatı bir çox monoqrafiyalardan və toplulardan almaq olar. Bunlara misal olaraq, ARTEK -in 1972, 1977, 1982-ci il məlumatlarını (*НКДАР ООН, 1972; НКДАР ООН, 1977; НКДАР ООН, 1982*), Kuzinin (*Кузин А.М., 1977, 1991*), Eyzenbadın (*Эйзенбад М., 1967*), Şvedov və Petinin (*Шведов В.П., Петин С.А., 1968*), Danilenko və Şevçenkonun (*Даниленко А.И., Шевченко И.Н., 1981*), Aleksaxinin (*Алексахин Р.М., 1982*) kitablarını göstərmək olar.

Adı çəkilən müəlliflər, atom radiasiyasının böyük dozalarda canlı orqanizmlərə dağıdıcı təsirinə dair məlum faktlara əsaslanmaqla, təbii radiasiya fonunu zərərli təsir yaratmanın ən aşağı səviyyəsi kimi qəbul etmişlər. Təbii radiasiya fonuna bu formada yanaşma insan cəmiyyətinin atom radiasiyasından qorunmasında mühüm praktiki əhəmiyyət kəsb etməsə də, o, geniş planda heç kim tərəfindən sübut olunmamış və hətta, sonrakı paraqraflarda görəcəyimiz kimi, çoxlu sayda təcrübi faktlarla ziddiyyət təşkil edən elə bir paradıqmaya söykənir ki, həmin paradıqmaya əsasən də atom radiasiyası istənilən səviyyədə insan sağlamlığına zərərdir.

Əgər təbii radiasiya fonuna ümumi bioloji mövqedən nəzər salsaq, görərik ki, atom radiasiyası və ətraf mühitə yayılmış radionuklidlər biosferə fasiləsiz olaraq təsir edən çoxlu sayda fiziki və kimyəvi faktorlardan biridir. Daha dəqiq desək, yaşadığımız planetdə həyat ətraf mühitin fiziki (temperatur, təzyiq, qravitasiya, elektrik və s.) və kimyəvi (atmosferin qaz tərkibi, makro və mikroelementlər, bioloji aktiv maddələrin konsentrasiyası və s.) faktorları ilə müəyyən olunan xarici şəraitin nisbətən dar çərçivəsi hüdudlarında yaranmış və inkişaf edərək bu günə gəlib çatmışdır. Məlumdur ki, bu faktorların hər hansı birinin qiymətinin artması (bəzən hətta çox az) və yaxud da azalması canlı orqanizmlər üçün xoşagəlməz fəsadlar törədir. Bu faktorların müəyyən bir həddi isə onlar üçün real təhlükəyə çevrilir. Adı çəkilən faktorların məlum səviyyəsi və onların Yer in mövcudluğu müddətində müntəzəm dəyişməsi canlı orqanizmlərin bu

şəraitə uyğunlaşmasına, başqa sözlə desək, biosferin mövcudluğuna səbəb olmuşdur. Buna görə də təbii olaraq belə bir sual meydana çıxır. Görəsən, Yerdə həyatın yaranmasında həmişə onunla birlikdə mövcud olan atom radiasiyasının da iştirakı olmuşdurmu?

Hesab etmək olar ki, həyatın yaranmasında və bu günə qədər mövcud olmasında, digər daimi təsir göstərən fiziki və kimyəvi faktorlar kimi, atom radiasiyası da müəyyən hədudlarda mühüm rolə malik olmuşdur. Məsələyə başqa formada da yanaşmaq mümkündür. Əgər canlı orqanizmlər özlərinin mövcud olmaları və inkişafı üçün bütün fiziki və kimyəvi faktorlardan istifadə ediblərsə, nə üçün radiasiya amilindən bu halda istifadə edilməsin? Ola bilərmə ki, canlılar milyard illər ərzində mövcudluğu müddətində yaşamaları üçün atom radiasiyasından təbii radiasiya fonu səviyyəsində istifadə etməsinlər? Qeyd edək ki, bu nə sırf nəzəri, nə də ümumi bioloji qanunauyğunluq baxımından mümkün deyil.

Yaşadığımız atom əsrinin, bildiyimiz kimi, xarakterik xüsusiyyətlərindən biri insanın radiasiya ilə bağlı texnogen fəaliyyətinin intensivliyinin artması və bunun məntiqi nəticəsi kimi təbii radiasiya fonunun müntəzəm artmasıdır. Bu səbəbdən də yuxarıda qoyulmuş sualın cavabının tapılması mühüm elmi və praktiki əhəmiyyət kəsb etməklə yanaşı, həm də təbii radiasiya fonunun bizim planetdə həyatın formalaşmasında rolunu aydınlaşdırmağa və müəyyən mənada kainatın sirlərini açmağa imkan verəcəkdir. Bu sualın elmi əsaslandırılmış cavabları, həmçinin də baş verə bilməsi mümkün olan atom radiasiyası təhlükəsini düzgün proqnozlaşdırmağa və təhlükənin təsirinin azaldılması məqsədi ilə sərf oluna biləcək külli miqdarda vəsaitin dəqiqləşdirilməsinə imkan verəcəkdir. Qoyulmuş sualın düzgün cavabının tapılması, bunlarla yanaşı, atom radiasiyasının imkanlarından istifadənin geniş perspektivlərini müəyyən etməyə imkan verəcəkdir.

Qeyd edək ki, bu istiqamətdə atılmış ilk addımlar bəzi hadisələrin klassik radiobioloji mövqedən izahını verməyin mümkün olmadığını göstərir. Belə çıxır ki, xarici şəraitin canlı orqanizmlərə təsir oblastının elə kiçik qiymətlər hədudu mövcuddur ki, həmin hədudlar daxilində yüksək dozalarda təsirlə müqayisədə diametrial əks nəticələr alınır. Fikrimizi başqa formada ifadə etsək, deyə bilərik ki, yüksək doza şüalanmaları üçün alınmış və kifayət qədər səmərəli dəlillərlə sübut edilmiş qanunauyğunluqların kiçik doza oblastına, yəni təbii radiasiya fonuna uyğun kəmiyyətlərə ekstrapolyasiya edilməsi ziddiyyətli nəticələrə gətirib çıxarır. Belə ki, sırf fiziki kəmiyyət olan və *Qrey* - lərlə ölçülən ekspozisiya və şüalanma dozaları bütün şüalanma diapazonları üçün doğru olduğu halda, nisbi bioloji effektlər əsasında müəyyən edilmiş və *Zivert* - lərlə ölçülən ekvivalent dozalar isə kiçik doza oblastları üçün doğru olmaya bilər və ona fərqli yanaşma tələb edir. Məsələn, kifayət qədər böyük şüalanma dozalarında letal effekt kriteriyası əsasında yaxşı izah oluna bilən keyfiyyət əmsalları (bu əmsallar, artıq qeyd etdiyimiz kimi, neytronlar üçün 10 - a, α - zərrəciklər üçün isə 20 - yə bərabərdir) kiçik şüalanma dozalarında (yəni hüceyrə bölünmələrinin stimullaşdırılması müşahidə olunan hallarda) həmin qiymətlərini saxlaya bilmir. Dediklərimizdən aydın olur ki, somatik effektlərdən ölüm və ya ilk iki

nəsil üçün qorxulu genetik dəyişikliklərin yaranma ehtimalının ölçüsü olan effektiv ekvivalent dozadan istifadə daha böyük dəqiqlik tələb edir.

Məlum olduğu kimi, bu parametrlərin qiymətləndirilməsi üçün radioaktiv şüalanmanın təsirinə daha yüksək həssaslıq göstərən qırmızı sümük iliğinin, süd və qalxanvari vəzilərin aldığı dozadan istifadə olunur. Bu toxumaların kiçik şüalanma dozalarında müşahidə olunan effektlərdə də aparıcı rol oynaması hələ də müəyyən edilməyib. Həmçinin də, bu zaman dəri reseptorlarına, neyrohumoral sistemə, orqanizmin ümumi enerji balansına və s. mümkün təsirin nəzərə alınmaması, çox yəqin ki, təbii radiasiya fonunun həyati proseslərdə rolunun düzgün qiymətləndirilməsinə imkan verməyəcək.

V. İ. Vernadskinin (*Вернадский В.И., 1965*) fikrincə, radioaktivliyin kəşfi Yer haqqında, onun enerji balansı haqqında təsəvvürləri kökündən dəyişdirə bildi. Belə ki, V. İ. Vernadski Yer qabığına paylanmış radionuklidləri iki qrupa ayırır. Birinci qrupa Yer qabığını əmələ gətirən süxur və minerallarda paylanmış radionuklidlər daxildir ki, onlar da, məkanca, demək olar ki, bütün Yer qabığını əhatə edir. Hesab olunur ki, bu qrupa daxil olan radionuklidlərin mövcudluğu Günəş sisteminin və onu təşkil edən elementlərin əmələ gəlməsinə səbəb olan kosmik proseslərlə əlaqədar olmuşdur.

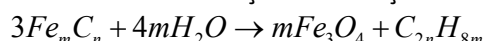
İkinci qrupa Yer qabığının alt təbəqələrinin ayrı-ayrı ərazilərində yığcam şəkildə toplanmış radionuklidlər daxil edilir. Radionuklidlərin (məsələn, uranın) hər hansı bir yerdə toplanması kritik kütləni aşsa bilər ki, bu da həmin yerdə, *1.8 mln. il* bundan əvvəl Afrika materikində (Okloda) olduğu kimi, zəncirvari reaksiyanın baş verməsinə səbəb ola bilər. Həmçinin də, həmin ərazilərdə radionuklidlərin parçalanması zamanı yaranan istilik enerjisi ərinti - maqmanın yaranmasına, tektonik proseslərin baş verməsinə, dağ və sualtı riflərin (qayaların), çatların əmələ gəlməsinə səbəb olmuşdur. Quruda və okeanların dibində riflərin əmələ gəlməsi son nəticədə Yer in dərin qatlarında toplanmış radionuklidlərin səthə çıxmasına və orta radiasiya həddindən milyon dəfələrlə yüksək olan ərazilərin yaranmasına səbəb olmuşdur.

7.2. Yer in biosferinin yaranmasında və təkamülündə təbii radiasiya fonunun əhəmiyyəti.

Hesab olunur ki, elementar formada həyatın yaranmasından xeyli əvvəl, böyük period ərzində çoxlu sayda sadə və yüksək polimer maddələrin abiogen sintezi (söhbət tərkibində karbon atomu olan maddələrin sintezindən gedir) mümkün olmuş, sonra isə cansız maddələrdən canlılara keçid prosesləri baş vermişdir (*Haldane J. B.S., 1954; Опарин А.И., 1957; Bernal J.D., 1967; Calvin M., 1969*).

Məlumdur ki, xarici elektron təbəqəsində 4 valent elektrona malik karbon atomları öz aralarında çox güclü kovalent rabitələr yaratmaqla, çoxlu sayda üzvi birləşmələrin karbon zəncirinin xətti və fəza quruluşunu yaratmaq qabiliyyətinə malikdirlər. Karbon atomlarının digər mühüm xüsusiyyətlərindən biri də, onların hidrogenin elektronunu özünə birləşdirməklə, onunla və həmçinin də özünün bir, iki,

hətta üç elektronunu verməklə, azot və oksigenlə kovalent rabitə yaratmaq qabiliyyətinin olmasıdır. Hesab olunur ki, karbonun hidrogen, oksigen və azotla yaratdığı bu birləşmələr canlı materiyanın yaranmasına səbəb olmuşdur. Qeyd edək ki, adı çəkilən elementlər canlı materiyanın ~ 97 % -ni təşkil edir. Kükürd və fosfor kimi digər elementlər isə canlı materiyaya bu və ya digər dərəcədə daxil ola bilməmişlər. Bu zaman karbon, özünün daha bir nadir polimerləşəbilmə xüsusiyyəti əsasında strukturunda canlı materiyanın mövcudluğunu təmin edən informasiyanı və yüksək nizamlılığı saxlayan nəhəng, heterogen polimer molekullar yarada bilməmişdir. Məsələn, A. İ. Oparin özünün həyatın yaranmasına dair yazdığı klassik əsərlərində (*Опарин А.И., 1924, 1936, 1941*) hesab edirdi ki, növbəti, daha mürəkkəb maddələrin sintezi üçün tələb olunan karbona təlabatı su ilə qarşılıqlı təsir nəticəsində karbohidrogenlər yarada bilən metal karbitləri ödəyə bilər. Daha da inandırıcı görünən digər bir fərziyyəyə əsasən isə okeanların dibinin üst səthində yaranan çatlar və sürüşmələr dəmir karbidləri və ya dəmir-nikel karbidləri şəklində litosferdə mövcud olan karbonun su ilə təması üçün real şərait yaratmış və nəticədə



şəklində reaksiya baş vermişdir. Beləliklə də növbəti sintezlər üçün tələb olunan böyük miqdarda ilkin material – karbohidrogenlər yaranmışdır.

Qeyd edək ki, bu prosesdə yaranan karbohidrogenlər kimyəvi cəhətdən inert maddələr qrupuna daxildirlər. Ona görə də, bu formada inert maddələrin həyat üçün zəruri birləşmələr yarada bilməsi onların digər elementlərlə reaksiyaya girməsini təmin edən güclü enerji mənbələri hesabına olmalıdır. Bu proseslərdə müxtəlif enerji mənbələrinin rolunu qiymətləndirmək məqsədi ilə, adətən, Miller və Ureyin (*Miller S., Urey H., 1959*) hesablamalarından istifadə edilir. Pavlovskaya (*Павловская Т.Е., 1973*) bu hesablamalardan istifadə etməklə, mümkün enerji mənbələrini müəyyənləşdirmiş və cədvəl 7.1.- dəki sıra üzrə düzmüşdür.

Cədvəl 7.1.

Müxtəlif enerji mənbələrinə dair göstəricilər

Enerji mənbəyi		Enerji ($\frac{kal}{sm^2 \cdot il}$)	Enerji mənbəyi	Enerji ($\frac{kal}{sm^2 \cdot il}$)
1. Günəşin ümumi radiasiyası		260 000	3. Elektrik boşalması	4.0
2. Günəşin ultrabənövşəyi şüalanması			4. Vulkan istiliyi	0.13
250 nm		570	5. Radioaktivlik	0.8
200 nm		885	6. Kosmik şüalanma	0.0015
150 nm		3.5		

Cədvəldən aydın olur ki, abiogen sintezlər üçün qısdaldığı ultrabənövşəyi şüalanma mühüm rola, ionlaşdırıcı şüalanma isə əhəmiyyətsiz rola malikdir.

A.M.Kuzin (*Кущин А.М., 1991*) isə diametral əks fikrin tərəfdarı kimi çıxış etmişdir. Onun fikrincə, abiotik periodun başlanğıcında bütün mürəkkəb karbonlu birləşmələrin sintezində aparıcı rol ionlaşdırıcı şüalanmaya məxsus olmuşdur. Müəllif fikrini aşağıdakı faktlarla əsaslandırmışdır. Yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi, ilkin doymuş karbohidrogenlərin əsas kütləsi müxtəlif metal karbitlərinin su ilə kantaktı baş verən yerlərdə - okeanın dibində mümkün ola bilərdi. Məlum olduğu kimi, doymuş karbohidrogenlər Günəşin görünən işığını uda bilmir. Yalnız qısdaldığı ultrabənövşəyi şüalar onların inertliyini poza bilər ki, bu şüalar da atmosferin alt təbəqəsi və suyun üst səthi tərəfindən tamamilə udula bildiyindən, onların okeanın dibində baş verən ilkin karbohidrogen reaksiyalarında rolu əhəmiyyətli ola bilməz. Aydındır ki, şimşək çaxması zamanı atmosferdə baş verən elektrik boşalmalarının da enerjisinin okeanın dibindəki proseslərə təsiri xüsusi əhəmiyyət kəsb edə bilməz. Hətta yüksək təzyiç altında belə suyun daşdığı istilik enerjisinin onun temperaturunu 200°S - dən çox edə bilməməsi və temperaturun bu qiymətinin də doymuş karbohidrogenlərin güclü kimyəvi rabitələrini qırmağa kifayət etməməsi faktlarına əsaslanmaqla, adı çəkilən enerjinin də bu prosesdə rol oynamayacağı fikrini söyləmək mümkündür.

Qeyd edək ki, yaşadığımız planetdə həyatın yaranması kimi nadir bir hadisənin Yer səthinin bütün hissələrində baş verə bilməsi fikrini qəbul etmək, yəqin ki, sadələşmələr olardı. Böyük ehtimalla, bu hadisə elə bir lokal ərazidə baş vermişdir ki, həmin yerdə üzvi maddələrin intensiv abiogen təkamülü üçün real zəmin yaranmış olsun. Daha dəqiq desək, məhz həmin yerdə ilkin karbohidrogenlərin inertliyini pozmağa kifayət edən və son nəticədə onları digər elementlərlə reaksiyaya girməyə sövq edən enerji toplanmış olsun. Belə enerji isə, böyük ehtimalla, Yer qabığında yaranmış rif və çatların hesabına üzə çıxmış radionuklidlərin yaratdığı ionlaşdırıcı şüalanmanın enerjisi ola bilərdi.

Yuxarıda qeyd olunan enerji hesablamalarında səhv ondan ibarət olmuşdur ki, ionlaşdırıcı şüalanmanın enerjisinin qiymətləndirilməsi zamanı onun bütöv yer kürəsi üzrə orta qiyməti əsas götürülmüşdür. Artıq qeyd etdiyimiz kimi, çat yerləri (həm Yerin quru səthlərində, həm də dərin okeanların dibində) Yerin səth qabığında paylanmış radionuklidlərlə müqayisədə min dəfələrlə yüksək şüalanma yarada bilən lokal enerji mənbəyi rolunu oynaya bilərdi. Bu səbəbdən də, söhbət yüksək radiasiya fonu şəraitində dünya okeanının bir çox və yaxud da bir neçə məhdud yerində ilkin karbohidrogenlərin transformasiyasından söhbət gedə bilərdi. Maraqlıdır ki, bu günədək də Hind okeanının, Qırmızı dənizin, Orta Atlantik dağ silsiləsinin rif zonalarında uranın konsentrasiyası 500 dəfəyə qədər yüksəkdir (*Батурич Г.Н., 1975*).

Aydındır ki, bu prosesdə ionlaşdırıcı şüalanmanın kəmiyyətə deyil, keyfiyyətə üstünlüyündən söhbət gedə bilər. Belə ki, bu şüalanma, digər şüalanmalarla müqayisədə, şüalanma kvantlarının daşdığı enerjiyə görə fərqlənir. Daha dəqiq desək, onlar istənilən kimyəvi rabitəyə uyğun enerjiden böyük olan enerjiyə malik olurlar. Ona görə də, ionlaşdırıcı şüalanma kvantları ilkin karbohidrogen

molekulları üzərinə düşərək, kimyəvi rabitələri qırmaqla, onlarda sərbəst valentliyə malik fraqmentlər - sərbəst radikallar yarada bilirlər. Yaranmış sərbəst radikallar isə, öz növbəsində, həm bir-biri ilə, həm də onları əhatə edən mineral süxurların azot, fosfor, kükürd, oksigen kimi digər elementləri ilə reaksiyaya girməklə, abiotik sintezin əsasını təşkil edən daha mürəkkəb karbohidrogenlər zəncirini yaratmışlar. Son nəticədə yüksək radioaktivliklə xarakterizə olunan ərazilərdə karbonlu birləşmələrin abiotik təkamülünə uyğun ilkin proseslər primitiv canlıların yaranması üçün zəruri olan amin turşularının, polipeptidlərin, nukleotidlərin, karbohidratların, lipidlərin sintezini təmin edən material mənbəyi rolunu oynaya bilməmişlər.

Böyük ehtimala malik olan bu prosesləri təcrübədə də yoxlamaq mümkün olmuşdur. Belə ki, Berkliyə tsiklotronunda α - zərrəciklərin CO_2 , H_2O və Fe^{+2} -yə təsirinə dair aparılmış ilk təcrübələr formaldehidin, qarışıqqa və kəhraba turşularının yaranmasını göstərdi (*Garrison W.M. et al. 1951*).

Tərkibində metan, etan kimi sadə karbohidrogenlər, ammoniyak, su, CO_2 , hidrogen və ya azot olan qaz qarışıqları ilə aparılan növbəti təcrübələr göstərdi ki, elektronların, protonların, γ - və rentgen şüalarının təsiri ilə belə qarışıqda aminlər, alanin, qlisin, asparagin turşusu kimi amin turşuları, süd turşusu və bir sıra müəyyən edilə bilməyən üzvü birləşmələr yaranır (*Dose K., Rajewsky B., 1957; Palm C., Calvin M., 1962; Oro J., 1963*).

Ponnamperuma metanı, ammoniyakı və suyu enerjisi 4.5 MeV olan elektronlarla şüalandırmaqla, nuklein turşularının əsas struktur komponenti olan adenin ala bilməmişdir. Müəllif digər bir təcrübədə böyük enerjiyə malik γ - şüaların təsiri ilə həm də hidrogen sianid və formaldehid ala bilməmişdir. Formaldehid məhlullarının γ - şüalanması isə tərkibində riboza və dezoksiriboza olan birləşmələr yaratmışdır (*Ponnamperuma C., 1967*).

Uran yataqları olan ərazilərdə yüksək radiasiya enerjisi, əlavə olaraq, böyük miqyaslarda suyun radiolizini həyata keçirə bilməmişdir ki, bu da ilkin yer atmosferinin sərbəst oksigenlə zənginləşməsinə səbəb olmuşdur. Oksigenin yaranması və karbohidrogenlərin suyun OH radikalları hesabına radiasion - kimyəvi oksidləşməsi isə karbonil birləşmələrin sintezi ilə nəticələnmişdir. Sonrakı dövrlərdə, yəni ayrı - ayrı ərazilərdə uzun zəncirli polinukleotidlərin yaranma ərəfəsində də ionlaşdırıcı şüalanma əhəmiyyətli rol oynaya bilməmişdir. Daha dəqiq desək, radioaktiv şüalanma polinukleotidlər zəncirini qıraraq, onların yeni variasiyalarını yaratmağa müyəssər olmuşdur.

Milyon illərlə davam edən bu dövrdə radiasiyanın mutagen təsiri canlı materiyanın yaranmasına təkan verən çoxlu sayda polinukleotidlərin və amin turşuları polimerlərinin (protoproteinlərin) yaranması üçün real zəmin yaratmışdır.

Təbii radiasiya fonunun yaratdığı ionlaşdırıcı şüalanma canlı orqanizmlərin təkamülünün növbəti mərhələsində də əhəmiyyətli rol oynamışdır. Məlum olduğu kimi, mutasiyalar, DNT - nin strukturunun dəyişməsi və bunların məntiqi nəticəsi kimi orqanizmin xüsusiyyətlərinin dəyişməsi Yerdə həyatın təkamülünün əsas amili olan növbəti təbii seçmə üçün ilkin material rolunu oynaya bilir. Məsələn, ionlaşdırıcı

şüalanmanın mutagen təsiri hələ 1925 -ci ildə Sovet alimləri Q.A.Nadson və Q.S.Filippov tərəfindən kəşf edilmişdir. Belə ki, rentgen şüalarının müxtəlif göbələklərə təsirini öyrənərkən onlar narıncı rəngli göbələklərin yaranmasını müşahidə edə bilməmişlər. Yeni növün öyrənilməsi onun ilkin növdən narıncı pigment və yağ toplamaq qabiliyyətinə görə fərqləndiyini göstərdi.

Müəlliflər bu faktı rentgen şüalarının mutagen təsiri ilə əlaqələndirdilər. Təxminən iki ildən sonra ABŞ -da Meller rentgen şüalarının drozofildə də mutagen təsirini aşkar edə bilməmişdir. Bir il keçdikdən sonra Stadler (ABŞ) ionlaşdırıcı şüalanmanın bəzi bitkilərdə də mutagen təsirini aşkar edə bildi. Beləliklə, ionlaşdırıcı şüalanmanın güclü mutagen faktoru olması sübut olundu və belə bir sual gündəmə gətirildi. Görəsən, bizi əhatə edən mühitin ionlaşdırıcı radiasiyası da spontan mutagenəzin təbii tempinə təsir göstərə bilərmi?

Hələ XX əsrin 30 - cu illərində bir qrup tədqiqatçılar (Meller, Timofeyev – Resovskiy, Frizen və başq.) drozofillə aparılan təcrübələrlə təbii radiasiya fonunun $\sim 0.1 - 0.2 \text{ rad / il}$ doza həddində təbii mutasiya prosesinə təsir edə bilməməsi fikrinə gəldilər. Məlum oldu ki, tədqiqatçılar bu fikri söyləyərkən iki əhəmiyyətli səhvə yol vermişlər. Birincisi, onlar orqanizmlərin müxtəlif radiohəssaslığa malik olmalarını və radiasiyanın təsirinin toplanmasını əks etdirən zaman faktorunu nəzərə almamışlar. İkincisi isə, onlar hər yerdə bərabər sürətlə, daimi baş verə bilən mutasiya prosesinin mümkünlüyü kimi düzgün olmayan təsəvvürü əsas götürmüşlər.

Bir qədər sonra (1952 - ci ildə) Rassel göstərdi ki, eyni şüalanmanın təsiri ilə siçanlarda drozofillə müqayisədə 20 dəfəyə qədər çox mutasiya baş verə bilər.

Əgər nəzərə alsaq ki, həyatın sadə formasının inkişafının ilk milyard ili ərzində radiasiya fonu indiki fonla müqayisədə yüksək olmuşdur və ifrat yeni ulduzların partlayışı nəticəsində bu fon yüz (bəlkə də min) dəfələrlə artmışdır, onda təkamül prosesinin ilkin dövrlərində radiasiyanın, daimi təsir göstərən mutagen faktoru kimi, bu prosesdə rolunu qiymətləndirmək çətin olardı. Çox yəqin ki, radiasiyanın mutagen təsirindən müdafiə sistemləri və onlara uyğun genetik strukturları tam formalaşmamış ilkin həyat formaları müasir növlərlə müqayisədə əhəmiyyətli dərəcədə radiohəssas olmuşlar.

Belə məlum olur ki, yaşadığımız planetdə həyatın təkamülü prosesində ionlaşdırıcı şüalanmanın rolu haqqında düzgün təsəvvürə malik olmaq üçün nəzərə almaq lazımdır ki, bu proses müddətində Yer radiasiya şəraiti həm zaman, həm də məkan baxımından əhəmiyyətli dərəcədə dəyişmişdir. Çox yəqin ki, həm böyük sürətlə yeni növlərin əmələ gəlməsinə, həm də yüksək radiasiya fonuna tab gətirə bilməyən bir çox növlərin nəslinin kəsilməsinə səbəb olan yüksək mutasiyalılıq periodu məhz həmin dəyişmələrlə bağlı olmuşdur.

Paleontoloqlar yaxşı bilirlər ki, yaşadığımız planetdə həyat bir neçə sürətli inkişaf və nəsilkəsilmə periodlarına malik olmuşdur. Buna misal olaraq, nəhəng sudaquruda yaşayanların, dinavurların, kərtənkələlərin yaranması ilə xarakterizə olunan paleozoy erasını göstərmək olar. Məlum olduğu kimi, bu era on milyon illərlə davam etmiş və onun üçün xarakterik olan heyvanların kütləvi şəkildə qırılması və Yer

üzündən silinməsi ilə nəticələnmişdir. Deyilənləri 1957 -ci ildə İ.S.Şklovski (*Шкловский И.С., 1965*) tərəfindən irəli sürülmüş hipotez də sübut edir. Bu hipotezə əsasən paleozoy erasının sonuna yaxın Günəşdən 5-10 ps (parsek) məsafədə olan ifrat yeni ulduz partlamış və bunun nəticəsində yaranmış yüksək kosmik radiasiya dinavzırlar kimi radiohəssas növlərin məhvinə səbəb olmuşdur.

Məlum olduğu kimi, bu period həm də radiasiyaya davamlılığa görə seçimlə xarakterizə olunmuşdur. Aydınır ki, bu günlərə qədər yaşamış kiçik ölçülü sürünənlər radiasiyaya qarşı yüksək davamlılığa malikdirlər. Belə ki, sonradan yaranmış məməlilərin, 0.2-0.7 krad -a bərabər radiohəssaslığı ($D_{50/30}$) ilə müqayisədə bu günün sürünənləri 5 - 20 krad radiohəssaslığa malikdirlər (*Кузин А.М., 1991*).

Bundan sonra yeni paleogen erasının başlanması üçün ~ 200 mln. il tələb olunmuşdur ki, bu era ərzində də (~ 10mln. il əvvəl) yenidən, nisbətən sadə formalardan müasir flora və fauna yaranmasının başlanğıcı qoyulmuşdur.

Yerin radioaktiv fonunun dəyişməsi və yeni həyat formalarının əmələ gəlməsi ilə bağlı vacib bir halı da qeyd etmək lazımdır. Radiobioloqlar orqanizmin radiasiyaya davamlılığı ilə ətraf mühitin qənaətbəxş olmayan şəraiti arasında sıx əlaqənin olmasını müəyyənləşdirə bilməmişlər.

Həmçinin də müəyyən edilmişdir ki, orqanizmlərin yüksək radioaktivliklə xarakterizə olunan mühitdə uzun müddət mövcud olması yeni, radiasiyaya davamlı növlərin əmələ gəlməsinə səbəb olur. Ona görə də yüksək radiasiya şəraitinin yalnız radiohəssas növlərin kütləvi məhvini deyil, həm də yeni radiasiyaya davamlı növlərin yaranmasına səbəb ola bilməsi fikrini söyləmək olar.

Dediklərimizi ümumiləşdirməklə belə bir fikir söyləmək olar: təbii radiasiya fonunun milyard illər ərzində mövcudluğu və onun zaman və məkan hüdudlarında dəyişmələri Yer biosferinin abiotik və biotik təkamülündə mühüm rola malik olmuşdur.

7.3. Təbii radiasiya fonunun orqanizmlərin normal böyüməsi və inkişafında rolu.

Yuxarıda qeyd olunanlardan aydın olur ki, temperatur, atmosfer təzyiqi, Yer gravitasiya və maqnit sahələri kimi biota daimi təsir edən fiziki faktorlardan biri də təbii radiasiya fonudur. Bu baxımdan, fundamental əhəmiyyət kəsb edən belə sual meydana çıxır. Görəsən, digər daimi təsir göstərən ətraf mühit faktorları kimi təbii radiasiya fonu da biotun normal həyat fəaliyyəti, böyüməsi və inkişafı üçün gərəkdirmi?

İlk dəfə olaraq, 1956 - cı ildə akademik A.P.Vinoqradov (*Виноградов А.П., 1956*) canlı orqanizmlərin təbii radiasiya fonu azaldılmış şəraitində "özlərini aparmalarına" dair tədqiqatlar aparmışdır. 10 il sonra fransalı tədqiqatçılar Planel və başq. (*Planel H. et al, 1965*) bu sahədə apardıqları tədqiqatların nəticələrini çap etdirdilər və 1966 -cı ildə isə həmin materialı Radiasiya Tədqiqatlarına dair Beynəlxalq Konqresdə məruzə etdilər (*Planel H., et al, 1966, 1967*). Aparılan tədqiqatların nəticələrindən məlum oldu ki, 10 sm qalınlıqlı divara malik qurğuşun evcik

içərisində, yəni təbii radiasiyadan mühafizə olunan kamera içərisində hüceyrə bölünməsi kəskin şəkildə azalır və kameraya 0.25 mkKu aktivlikli torium-232 izotopunun daxil edilməsi isə yenidən hüceyrə bölünməsindəki gecikməni aradan qaldırır. Təcrübələr dəfələrlə təkrar olunmuş və həmişə də həmin nəticələr alınmışdır.

1966-cı ildə Beynəlxalq Konqresdəki çıxışını Planel aşağıdakı sözlərlə yekunlaşdırdı: "Aldığımız nəticələr təbii radiasiyanın yaratdığı ionlaşmanın hüceyrə bölünməsində xüsusi əhəmiyyətə malik olması fikrini söyləməyə əsas verir".

Həmin illərdə D. M. Qrodzinski kalium çatışmamazlığı şəraitində yetişən buğdanın inkişafının ləngiməsini müşahidə etmiş və kalium - 40 izotopunun təbii şüalanmasının bitkilərin normal inkişafı üçün vacib olması fikrini söyləmişdir (Гродзинский Д.М., 1965).

Oxşar nəticəni, ancaq tamamilə fərqli qoyuluşda, M.S.Jukov da almışdır (Жуков М.С., 1964).

1968-ci ildə Planel və başq. (Planel H. et al, 1968) aldıkları nəticələrə müəyyən dəqiqlik gətirmək məqsədi ilə yeni tədqiqatlara başladılar. Onlar təbii radiasiya fonunu ekranlaşdırmaq üçün *Drosophila melanogaster* yumurtasını qurğuşun kamerada yerləşdirdilər və bu şəraitdə onun inkişafını izlədilər. Nəticələrdən aydın oldu ki, kamerada yerləşdirilmiş *Drosophila melanogaster* yumurtasının inkişafında, digər ətraf mühit faktorları dəyişməyən halda, əsaslı ləngimələr baş verir. Daha dəqiq desək, aydın oldu ki, kamerada yerləşmiş sürfələr kontrol sürfələrlə müqayisədə 24-28 saat gec əmələ gəlir. Bu halda da tədqiqatçılar kameraya 125 mrad/il şüalanma gücünə malik ^{60}Co izotopu daxil etməklə təbii radiasiya fonunu yenidən bərpa etmişlər və bununla da gecikmə effektini tamamilə aradan qaldıra bildilər.

1969 -cu ildə isə onlar bu sahədə tədqiqatlarını davam etdirərək, təbii radiasiya fonunu daha da azaltmaq məqsədi ilə təcrübələrini dolomit tərkibli torpaqda - yeraltı laboratoriyada aparmışlar (Planel H. et al. 1969). Qeyd edək ki, bu tip torpaqlar enerjisi 3 Mev - ə qədər olan yüksək enerjili xarici şüalanmadan təcrübə obyektlərini qoruya bilir.

Tədqiqatların nəticələri *parametsiyanın* da boy atmasının kiçik ləngiməsini qeydə almağa imkan verdi. Əlavə olaraq, müəyyən edildi ki, bu proses həm də generasiya müddətinin artması ilə müşayiət olunur və əgər təbii radiasiya fonundan dolomit torpaqlarla mühafizəyə həm də qurğuşun mühafizə əlavə olunarsa, onda generasiya müddətinin artımı 130% - ə çatır.

İndi də digər bir suala cavab tapmağa çalışaq. Görəsən, bu nəticələri ali bitkilər və məməlilər kimi mürəkkəb orqanizmlərə də aid etmək olarmı? Bu suala cavab tapmaq üçün 1975 -ci ildə SSRİ EA-nın Bioloji Fizika İnstitutunda təbii radiasiya fonundan mühafizə məqsədi ilə sudan istifadə etməklə, kiçik fonlu kamera hazırlanmışdır. Bu məqsədlə 5 m diametrlili dəmir-beton divarlı yeraltı çən su ilə doldurulmuş, çənin mərkəzində 2 mm qalınlıqlı paslanmayan poladdan hazırlanmış germetik konteyner, onun içərisində isə tədqiq olunan obyekt olan kamera yerləşdirilmişdir. Radiasiya amilini çıxmaq şərti ilə digər fiziki parametrlər həm təcrübə, həm də kontrol kameralarda eyni olmuşdur. Təcrübələrdə ali bitkilərin

boyatma sürəti onların yerüstü (gövdə) və yeraltı (kök) hissələrinin ölçüləri əsasında müəyyən edilmişdir. Məlum olmuşdur ki, aparılan təcrübələrin hamısında təbii radiasiya fonunun azalması bitkilərin (bu halda qırmızı turpun) inkişafının ləngiməsinə səbəb olur.

1978 -ci ildə Lukkey və başq. (*Luckey T.D. et al., 1978*) Planelin təcrübələrini *Paramecium bussaria* üzərində təkrar etmiş və müəyyən etmişdir ki, təbii radiasiya fonundan qurğuşunla mühafizə bu bitkinin reproduksiya sürətini azaldır.

Bir neçə il sonra *Aspergillus niger* üzərində aparılan təcrübələr onun 8 sutka müddətində alçaqfonlu (təbii radiasiya fonundan 10 dəfə kiçik olan) kamerada yetişdirilməsi bu kulturanın quru vegetativ kütləsinin, kontrolla müqayisədə, 70 -90 % azalmasını və kifəmələgəlmə metabolizminin pozulmasını göstərmişdir. Bu halda da alçaqfonlu kamerada təbii radiasiya fonunu bərpa edən uran duzunun yerləşdirilməsi baş vermiş pozulmaları bərpa etmişdir (*Кузин А.М., 1991*).

Beləliklə, birhüceyrəli orqanizmlərə (parametsiya və yosunlar), həşəratlara (drozofil) və ali bitkilərə (qırmızı turp) dair alınmış nəticələrin əsasında birmənalı olaraq, təbii radiasiya fonunun bu orqanizmlərin normal inkişafı üçün vacib olması fikrini söyləmək olar.

1980 -ci ildə A.M.Kuzinin rəhbərliyi altında (*Кузин А.М., Каушанский Д.А., 1981*) məməlilərin (sürətli inkişaf edən siçan balalarının) üzərində də buna oxşar təcrübələr aparılmışdır. Bu halda da kiçik fonlu kamerada yerləşdirilmiş siçanların kütlə artımının nəzərəcarpacaq dərəcədə azalması müşahidə olunmuşdur. Yenə də aşağı radiasiya fonunun uran duzu vasitəsilə kompensasiya edilməsi dəyişikliklərin aradan qaldırılması ilə nəticələnmişdir.

Nəzərdən keçirdiyimiz tədqiqat işlərinin nəticələrini ümumiləşdirərək böyük əminliklə qeyd etmək olar ki, təbii radiasiya fonu birhüceyrəli orqanizmlərin və hüceyrələrin bölünməsi, müxtəlif həşərat embrionlarının inkişafı və diferensiasiyası (bölünməsi), ali bitki və heyvanların boyatma və inkişafı kimi kardinal əhəmiyyətli həyati proseslərin gedişində fəal sürətdə iştirak edir. Belə çıxır ki, sadalanan proseslərin normal həyata keçməsi üçün təbii radiasiya fonunun vacibliyi, birmənalı olaraq, fon intensivliyinin azalması nəticəsində bu proseslərin ləngiməsi və yaxud da tamamilə dayanması ilə sübut olunmuşdur.

Planelin, Lukkeyin və Kuzinin öz əməkdaşları ilə apardığı tədqiqatlar biosferin yaranması və mövcudluğunda təbii radiasiya fonunun rolu haqqında təsəvvürləri kökündən dəyişdirməyə müyəssər oldu. Əgər əvvəllər təbii radiasiya fonuna ionlaşdırıcı şüalanmanın biota zərərli təsirinin ən kiçik həddi kimi baxılırdısa, indi təcrübələrlə tam sübut olundu ki, təbii radiasiya fonu, ətraf mühitin digər daimi təsir göstərən fiziki faktorları kimi, canlı orqanizmlərin normal həyat fəaliyyətində istifadə olunur.

Qeyd edək ki, təbii radiasiya fonu haqqında formalaşmış yeni təsəvvür requlyator proseslərinin və canlı orqanizm energetikasının dərk edilməsi üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

7.4. Yüksək radiasiya fonunun biota əlverişli təsiri.

Ətraf mühitin çoxlu sayda biota daimi təsir göstərən fiziki və kimyəvi faktorlarının tədqiqinə dair təcrübələr bu faktorların təbii sərhədləri çərçivəsində dəyişməsinin canlıların həyat fəaliyyətində öz əksini tapmasını göstərdi. Əvvəlki paraqrafda göstərdiyimiz kimi, bu faktorların hər hansı birinin (məsələn, təbii radiasiya fonunun) təsir gücünün azaldılması həyati proseslərin ləngiməsinə (pozulmasına) səbəb olur. Daha dəqiq desək, təbii radiasiya fonunun azaldılması hüceyrə bölünməsi, orqanizmlərin boyatma və inkişafı kimi vacib proseslərə mənfi təsir göstərir ki, bu da, təbii radiasiya fonunun təkamül prosesində canlıların mövcudluğu üçün mühüm əhəmiyyətə malik olmasını göstərir.

Maraqlıdır ki, təbii radiasiya fonunun azaldılması həyati proseslərin ləngiməsinə və pozulmasına səbəb olursa, əksinə, onun müəyyən həddə qədər artırılması həmin proseslərin sürətlənməsi ilə nəticələnir. Bu zaman təbii fona uyğun parametrin böyük miqyasda dəyişməsi yenidən mənfi təsir göstərməklə, proseslərin pozulmasına və canlıların məhv olmasına gətirib çıxarır. Belə şəraitlərdə biotun təkamül prosesində ətraf mühit faktorlarının flüktasiyası çərçivəsində dəyişməsinə adaptasiya edə bilməsi də mümkündür (*Кудрицкий Ю.К., 1967; Кудрицкий Ю.К., Карпов В.И., 1984; Оруджева Дж.Р., Джафаров Э.С., 2007*).

Qeyd edək ki, insanlar üçün təbii radiasiya fonunun torpaqdan $1m$ yüksəklikdə hesablanmış həddi $1il$ ərzində $0.1 - 4 sZv$, torpaq üstündə yaşayan kiçik heyvanlar üçün $0.3-16 sZv$, bitkilərin kök sistemləri üçün və torpaq mikroorqanizmləri üçün isə $2 - 3$ dəfə böyük ($0.6 - 48 sZv$) olur. Bu həddin kənar qiymətləri olan 0.1 və $48 sZv / il$ rəqəmlərini əsas götürməklə, qeyd etmək olar ki, təbii radiasiya fonunun $\sim 40 - 500$ dəfə artması biot üçün normal hesab oluna bilər (*Кузин А.М., 1991*).

Görəsən, təbii radiasiya fonunun bu intervalda artmasına canlı orqanizmlərin reaksiyası onların boyatma və inkişafına hansı formada təsir göstərir? Bu günə qədər dünyanın müxtəlif laboratoriyalarında aparılmış kifayət qədər tədqiqat işlərinin nəticələri göstərir ki, canlı orqanizmlər yüksək radiasiya fonunu yaxşı qəbul edirlər. Xronoloji ardıcılıqla bunların bəzilərini nəzərdən keçirək. İlk olaraq, radonun yüksək konsentrasiyası (emanasiyası) şəraitində bitkilərin inkişafının sürətlənməsini müşahidə edən çex tədqiqatçısı Y.Stoklaza (*Stoklaza J., 1920*) olmuşdur. Sonradan oxşar tədqiqatlar Breslavets və başq. (*Бреславец Л.П. и др., 1956*) tərəfindən aparılmışdır. Adı çəkilən tədqiqatçılar bu məqsədlə gücü $1Ku$ olan ^{60}Co mənbəyini təcrübə sahəsində yerin səthindən $3m$ yüksəklikdə quraşdırmış və ondan 30 və $40 m$ radiuslu məsafədə çevrə üzrə $3 m$ - lik hesabat zonaları (hər çevrə üzərində 5 dənə) yerləşdirmişdilər. Bu zonalarda şüalanma gücü gün ərzində, uyğun olaraq, 0.036 və $0.019 rad$ olmuşdur. Bu isə, γ - sahə zonalarından kənarında olan kontrol zonalara aid ərazilərin təbii radiasiya fonu ilə müqayisədə $65-35$ dəfə çoxdur. Təcrübələrdə qarğıdalı bitkisindən istifadə edilmişdir. Tədqiqatın nəticələri göstərmişdir ki, yüksək radiasiya şəraitində bitkinin vegetasiyası onun inkişafının sürətlənməsinə səbəb olur. Bu zaman bitki çiçəklənmə fazasına daha tez daxil olmuş, yüksək kolluğa malik olmuş

və generativ orqanları böyümüşdür ki, nəticədə yaşıl məhsulun kütləsi kontrollu müqayisədə 30 - 40 % çox olmuşdur.

1961 - 1962-ci illərdə O.Y.Volkova və A.L.Taşinskaya (*Волкова О.Ю. и др., 1961; Волкова О.Ю., Ташинская А.Д., 1962*) radonun yaratdığı yüksək radiasiya fonunun siçanlara təsirinə dair tədqiqat işlərinin nəticələrini çap etdirdilər. Bu nəticələrə əsasən siçanların gündə 30 dəq olmaq şərti ilə bir ay müddətində radonla zənginləşdirilmiş atmosferdə qalması onların dəri və ağ ciyərlərinin təbii radiasiya fonunun yarada biləcəyi şüalanma ilə müqayisədə 200 dəfəyə qədər yüksək şüalanmaya məruz qalmasına səbəb oldu. Müəlliflərin aldığı nəticələrə əsasən, bu şərait siçanların leykositlərinin faqositar aktivliyini 125 - 180 % -ə qədər artırmış və onlarda eritripoz prosesini stimullaşdırmışdır. Aparılmış tədqiqatlar, həmçinin də, göstərmişdir ki, təbii radiasiya fonunun qısa müddət ərzində 100 - 200 dəfəyə qədər artması təcrübə siçanlarının immun sistemə aktiv təsir göstərməklə, onların qeyri-spesifik immunitetini artırır.

1973 -cü ildə embrional *fibroblastlar* kimi radiohəssas hüceyrə kulturası üzərində aparılan təcrübələr göstərdi ki, təbii radiasiya fonundan 10 və 100 dəfəyə qədər yüksək şüalanma gücünə malik radonla onların şüalanması *fibroblastların* sayının əhəmiyyətli dərəcədə artmasına səbəb olur (*Добрачев Ю.П., 1973*).

Eyni vaxtda nəsil verməyən ağ siçovullar üzərində aparılan təcrübələr vasitəsilə müəyyən edildi ki, yemlərinə gündəlik 0.01 və 0.001 mkKu aktivlikli seziyum - 137 izotopunun daxil edilməsi onların bir sıra immunoloji göstəricilərinin artmasına səbəb olur (*Шубик В.М., Колотвин В.А., 1973*). Qeyd edək ki, göstərilən miqdarda qəbul olunan seziyumun yaratdığı xroniki şüalanma təbii radiasiya fonunun yaratdığı şüalanmadan uyğun olaraq, 2 və 20 dəfə böyükdür.

Qida ilə 0.046 Bk aktivlikli ⁹⁰Sr və ¹³⁷Cs radioizotoplarının siçanların orqanizminə xroniki daxil edilməsi də onların orqanizminin təbii radiasiya fonundan şüalanmasını ~2 dəfəyə qədər artırır. Belə şəraitdə yaşayan siçanların 2 nəslə üzərində aparılan müşahidələr onların çəkirlərinin kontrollu müqayisədə artmasını və çoxalma funksiyasının stimullaşmasını göstərmişdir (*Ермолаева – Маковская А.П. и др., 1973*).

1982 -ci ildə Krout və başq. (*Croute F. et al., 1982*) *Paramesium tetraurella* üzərində apardığı təcrübələrlə müəyyən etmişdir ki, bu kulturanın 100 saat ərzində təbii radiasiya fonunun yaratdığı şüalanmadan 10 dəfə yüksək şüalanmaya məruz qalması kontrollu müqayisədə hüceyrələrin sayının 130 % -ə qədər artması ilə nəticələnir.

Oxşar nəticələr birhüceyrəli yosunlar üçün də alınmışdır (*Conter A. et al., 1987*). Kuzin və əməkdaşları (*Кужин А.М. и др., 1985*) ciddi nəzarət edilən şəraitdə yüksək təbii radiasiya fonunun bitkilərin inkişafının ilkin fazasına təsirini öyrənmişlər və müəyyən etmişlər ki, yüksək təbii radiasiya fonu şəraitində xiyar şitillərinin inkişafı stimullaşır.

Radiasiyanın xroniki təsiri şəraitində formalaşmış bəzi yabanı ot bitkilərində də stimullaşma effektləri qeydə alınmışdır (*Сәфərov E.S. və başq., 2005*).

RADİASİYANIN BİOLOJİ TƏSİRİ

8.1. Radiasiyanın insan orqanizminə təsir effektləri.

İonlaşdırıcı şüalanmanın bioloji təsiri müxtəlif şüalanma növlərinin canlı təbiətə təsirinə dair ümumi problemin tərkib hissəsini təşkil edir.

Məlum olduğu kimi, öz quruluşuna görə insan orqanizmini molekulyar (makromolekullar da daxil olmaqla), hüceyrə, toxuma və ayrı-ayrı orqanlar kimi dörd struktur səviyyəsinə ayırmaq olar. Müəyyən olunmuşdur ki, ionlaşdırıcı şüalanmanın təsiri ilə adı çəkilən hər bir səviyyədə bir çox dönməz və dönməz proseslər baş verir. Birinci struktur səviyyəsində orqanizmi təşkil edən molekulaların həyəcanlanması, ionlaşması və dissosiasiyası baş verir. Bu proseslər, öz mahiyyəti etibarlı ilə, radiasiyanın təsirinin ilkin təzahür formalarıdır və onlar növbəti (ikinci) proseslər üçün zəmin yaradır. Nəzərə alsaq ki, insan orqanizminin $\frac{2}{3}$ hissəsini su təşkil edir və biokimyəvi proseslərdə suyun radiolizi mühüm rola malik olur, onda molekulyar səviyyədə baş verən bu təsirin bir çox növbəti proseslər üçün başlanğıc ola biləcəyi heç bir şübhə doğurmur.

Dediklərimizə bir qədər aydınlıq gətirək. İlkin mərhələdə radioaktiv şüalanmanın təsiri su molekullarının parçalanmasına və OH , HO_2 , H_2O_2 və s. kimi kimyəvi aktiv maddələrin – sərbəst radikalın yaranmasına səbəb olur. Növbəti mərhələdə kimyəvi aktiv maddələr orqanizmdə bir çox kimyəvi reaksiyaların yaranmasına zəmin yaradır. Sonrakı mərhələdə isə kimyəvi reaksiya məhsulları radiasiya ilə birbaşa təmasda olmayan çoxlu sayda digər molekulaların biokimyəvi qarşılıqlı təsir proseslərində iştirakına kömək edir.

Hüceyrə səviyyəsində radiasiyanın təsiri onun birbaşa “zədələnməsi” ilə nəticələnə bilər. Bu halda əgər radiasiyanın təsiri hüceyrə səviyyəsində onun birbaşa “zədələnməsi” ilə nəticələnərsə, belə təsir bir neçə sonluğa gətirib çıxara bilər. Birincisi, hüceyrənin özündə bərpa prosesinin hesabına zədələnmə aradan qaldırılır və hüceyrənin funksiyaları tamamilə bərpa olunur. İkincisi, zədələnmə tam aradan qaldırılmasa da, hüceyrə həyat fəaliyyətli olur. Üçüncüsü, radiasiyanın təsiri hüceyrənin məhvini səbəb olar.

Ayrı - ayrı orqan və toxumalar halında isə təsirin xarakteri xeyli fərqlənə bilər. Radiasiyanın təsiri bu halda hətta nisbətən çoxlu sayda hüceyrənin məhvini səbəb olarsa, bu itki uyğun orqan və toxuma üçün əhəmiyyətli itki olmaya bilər və orqan həyat fəaliyyətli qalar. Digər halda isə belə təsir məhv olan hüceyrələrin sayının kifayət qədər çox olmasına və nəticədə toxuma və ya orqanların fizioloji funksiyasının

itməsinə səbəb ola bilər. Qeyd edək ki, nisbətən kiçik dozalarda bu cür sonluğun olma ehtimalı sifirə yaxın olur. Udulma dozasının kliniki astana dozası adlanan müəyyən bir limit qiymətindən böyük dozalarda isə bu ehtimal çox yüksək, yəni təxminən vahidə bərabər ola bilər. Astana dozalarından yüksək dozalarda orqanizmin zədələnmə dərəcəsinin doza gücündən asılı olması və doza artdıqca, qeyri-xətti qanunla artması müəyyən edilmişdir (*Барсуков О.А., Барсуков К.А., 2003.*).

Verilmiş orqanın funksiyasının itməsi ilə nəticələnən bu cür effektlər somatik effektlər adlanır. Radiasiyadan Mühafizə üzrə Beynəlxalq Komissiyanın (RMBK-nın) 60 -cı məcmuəsində (*Рекомендации МКРЗ., Публ. 60*) bu terminin əvəzində “*determinasiya effektləri*” termininin işlənməsi məsləhət görülür. Komissiya bu dəyişmənin səbəbini aşağıdakı kimi izah edir. “Hüceyrələrdə ilkin dəyişmələr təsadüfi xarakter daşdığı üçün müşahidə olunan kliniki qeyri-stoxastik effekti özündə təzahür etdirən çoxlu sayda hüceyrələr “*determinasiya*” xarakterli effekt yaradır”.

Əgər şüalanmanın təsiri hüceyrənin məhvinə səbəb olmayıb, onda hansısa dəyişiklik yadırsa, belə olan halda bir müddətdən sonra (bu müddət “*latent dayanma dövrü*” adlanır) bədxassəli şiş əmələ gətirən çoxlu sayda zədələnmiş hüceyrələr yaranır. Çox yəqin ki, bu prosesə uyğun astana həddi yoxdur və “*determinasiya*” effektlərinə uyğun astana həddindən xeyli kiçik doza intervalında bədxassəli şişlərin yaranma ehtimalı təxminən dozaya mütənasib olur (*Барсуков О.А., Барсуков К.А., 2003.*). Təsvir etdiyimiz bu cür astanasız effektlər “*stoxastik effektlər*” adlanır ki, bu da, onların statistik xarakterli (təsadüfi ehtimallı) olmasına işarədir.

Genetik informasiyanı sonrakı nəsillərə ötürmək funksiyasını daşıyan hüceyrənin zədələnməsi halında isə müxtəlif ağırlıq dərəcəsinə malik radiasiya effektləri yaranır. Bu effektlər, adətən, şüalanmış şəxsin sonrakı nəsillərində özünü biruzə verir. Bu tip stoxastik effektlər “*genetik effektlər*” adlanır. RMBK - nın yenə də 60 - cı məcmuəsində bu effektin “*nəsillərə ötürülə bilən effekt*” adlandırılması məsləhət görülür (*Рекомендации МКРЗ., Публ. 60*). Qeyd edək ki, genetik effektlər şüalanmaya məruz qalmış populyasiyanın bir neçə (ən azı iki) nəsində baş vermiş dəyişmələrin statistik təhlili əsasında aşkar edilə bilər.

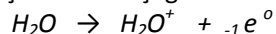
Bu gün ionlaşdırıcı şüalanmanın canlı orqanizmlərə birbaşa və dolay yolla təsirinə dair bir - birini tamamlayan mexanizmlər vermək mümkün olmuşdur (*aşağıda bu barədə ətraflı məlumat veriləcək*).

Birbaşa təsir mexanizminin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, radiasiyanın təsiri canlı hüceyrələrin atomlarının həyəcanlanmasını və ionlaşmasını yaradır. Qeyd edək ki, birbaşa təsir mexanizmləri şüalanmanın bir sıra fizioloji prosesləri dəyişdirə bilməsi faktını tam şəkildə izah edə bilmir. Bunun səbəbi canlı orqanizmin şüalanması zamanı bioloji toxumalarda mürəkkəb fiziki, kimyəvi və bioloji proseslərin baş verməsidir. Çox yəqin ki, radiasiyanın bioloji toxumalara təsiri birbaşa olmayıb, dolay yolla baş verir. Belə ki, canlı toxumaların atomlarının ionlaşması və həyəcanlanması növbəti fizioloji dəyişmələr zəncirinin yalnız ilkin mərhələsidir.

Radiasiyanın dolay təsiri prosesində bioloji toxuma molekulları (atomları) ionlaşdırıcı şüalanmanın enerjisini bilavasitə deyil, digər molekullardan ötürülmə yolu

ilə qəbul edir. Bioloji toxumaların kütləyə görə 60-70% -ni su təşkil etdiyindən radiasiyanın təsiri ilə, ilk növbədə, su molekulları hidrogenə (H) və hidroksil (OH) qruplarına parçalanır ki, bunlar da, ya bilavasitə, ya da ikinci çevrilmələr zənciri üzrə hidrat oksidi (HO₂) və hidrogen peroksid (H₂O₂) kimi yüksək kimyəvi aktivliyə malik məhsullar yaradır. Bu birləşmələr isə, öz növbəsində, toxumaların üzvi molekullarını oksidləşdirmək və parçalamaq yolu ilə onlarla qarşılıqlı təsirdə olurlar.

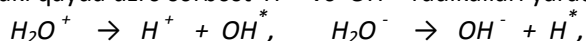
Bu prosesləri sadələşmiş formada aşağıdakı kimi təsvir etmək olar :



İfadədən aydın olur ki, radiasiyanın təsiri su molekulundan elektronun qopmasına və nəticədə müsbət su ionunun yaranmasına səbəb olur.

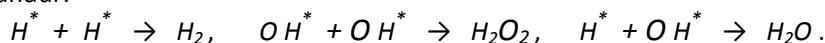
Qopmuş elektron neytral su molekulu tərəfindən tutula bilər və beləliklə həm də mənfi su ionu yaranabilir: $H_2O + \cdot e^- \rightarrow H_2O^-$

Qeyd edək ki, yaranmış su ionları dayanıqlı olmurlar və özbaşına parçalanmaqla, aşağıdakı qayda üzrə sərbəst H^{*} və OH^{*} radikalları yaradırlar:

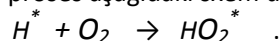


Yaranmış radikallar maye mühitdə sərbəst hərəkət edərək orqanizmin hər yerinə yayıla bilərlər.

Sərbəst radikalların bir qisminin öz aralarında rekombinasiya edə bilməsi də mümkündür:



Sərbəst oksigenin olması, bunlardan başqa, toxumalarda HO₂^{*} radikalının yaranmasına da səbəb olur. Bu proses aşağıdakı sxem üzrə baş verir:



Bu prosesin son məhsulu kimi yaranmış güclü H₂O₂ və HO₂^{*} oksidləşdiriciləri canlı orqanizmin molekullarını oksidləşdirməklə, onlarla qarşılıqlı təsirdə olurlar. Bu isə, bütövlükdə orqanizmdə və ya onun ayrı-ayrı toxumalarında biokimyəvi proseslərin pozulmasına, beyin biocərəyanlarının dəyişməsinə, onurğa beyni hüceyrələrinin zədələnməsinə, qanın tərkibinin dəyişməsinə və s. səbəb olur. Son nəticədə canlı toxuma hüceyrələrinin uzlaşdırılmış birgə fəaliyyəti tədricən pozulur.

Xüsusi tədqiqatlarla müəyyən edilmişdir ki, radiasiyanın təsiri ilə hüceyrələrin təbii bölünmə prosesi pozulur və onlar məhv ola bilər. Əgər şüalanmış hüceyrələr məhv olmurlarsa və həyat fəaliyyətli qalırlarsa, onda onlar bədxassəli hüceyrələrin əcdadlarına çevrilirlər.

Orqanizmin uzun müddətli şüalanmaya məruz qalması halında isə “şüa xəstəliyi” adlanan xəstəlik inkişaf edir.

Radiasiyanın bioloji təsirinə dair müasir təsəvvürləri ümumiləşdirərək, bu şüalanma növünün canlı orqanizmlərə bioloji təsir mexanizmini aşağıdakı sxem üzrə mərhələlərə bölmək olar:

- 1) Şüalanma enerjisinin orqanizmin hüceyrə və toxumaları tərəfindən udulması;
- 2) Sərbəst radikal və oksidləşdiricilərin (oksidantların) yaranması;

- 3) Biokimyəvi proseslərin pozulması;
- 4) Fizioloji proseslərin pozulması.

8.2. Radiasiyanın insan orqanizminə təsirinin xüsusiyyətləri.

Radioaktiv şüalanma növünün insan orqanizminə təsirinin öyrənilməsi aşağıdakı xüsusiyyətləri aşkara çıxardı:

1. Radiasiyanın orqanizmə təsirini insan hiss etmir. Başqa sözlə desək, insanlarda şüalanmanı hiss edən hissiyyət orqanı yoxdur. Buna görə də insanlar heç bir təsir hiss etmədən radioaktiv maddəni uda bilər, onunla nəfəs ala bilər, əlində saxlaya bilər və s. Bu baxımdan, dozimetrik cihazlar insanların radioaktiv şüalanmanı, onun səviyyəsini "hiss etmək" üçün yaradılmış əlavə hiss orqanı funksiyasını həyata keçirir;

2. Udulan radioaktiv şüalanma enerjisi yüksək effektivliyə malikdir. Belə ki, hətta kiçik miqdarda udulan şüalanma enerjisi orqanizmdə böyük bioloji dəyişikliklər yarada bilər. Məsələn, 70 kq kütləli adamın birdəfəlik 6 Qr şüalanma enerjisi qəbul etməsi (qeyd edək ki, bu enerji dozası öldürücü dozadır) onun cəmi 429 C - a bərabər enerji qəbul etməsi deməkdir ki, bu da onun bir çay qaşığı qaynar su qəbul etməsi zamanı aldığı enerjiyə bərabərdir;

3. Radiasiyanın insan orqanizminə təsiri gizli inkubasiya perioduna malikdir. Şüa xəstəliyi üçün xarakterik olan dəri örtüyünün görünən zədələnməsi və yaxud da orqanizmin ümumi halsızlığı ani deyil, yalnız müəyyən müddətdən sonra özünü biruzə verir. Böyük dozalarda şüalanma hallarında inkubasiya periodu azala bilər;

4. Kiçik dozalarda şüalanmanın təsiri cəmlənə (toplana) bilir. Dozanın cəmlənməsi gizli həyata keçir. Əgər insan orqanizminə sistemativ olaraq radioaktiv maddə daxil olursa, onda zaman keçdikcə doza cəmlənir və son nəticədə şüa xəstəliyi üçün real zəmin yaranır.

5. Radioaktiv şüalanma təkcə şüalanma enerjisini udmuş orqanizmə deyil, həm də onun sonrakı nəsillərinə təsir edir. Genetik effekt adlanan bu təsirlə biz bir az sonra daha ətraflı tanış olacağıq.

6. Radioaktiv şüalanmaya canlı orqanizmin müxtəlif orqanlarının həssaslığı eyni olmur.

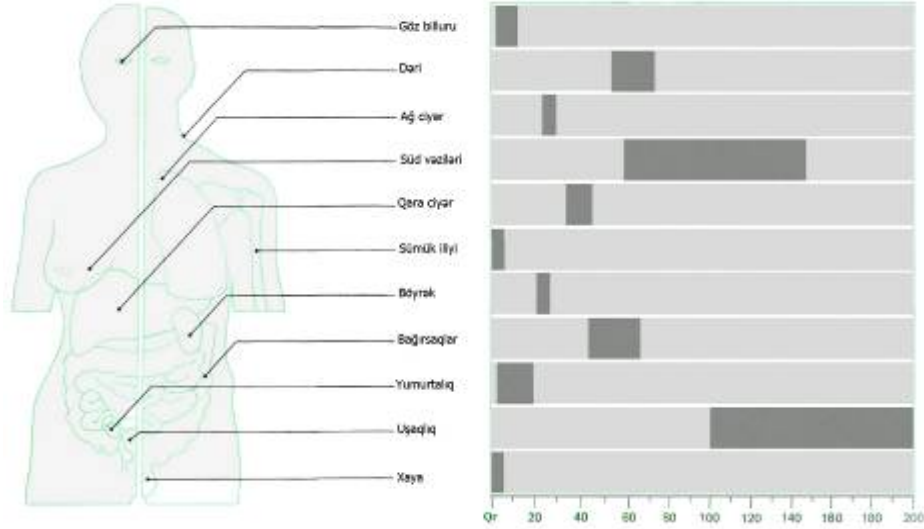
Kəskin zədələnmələr. ARTEK özünün 1982 - ci il məruzəsində yüksək şüalanma dozalarında insan orqanizmində baş verə biləcək kəskin zədələnmələrə dair məlumatlara geniş yer vermişdir (*HKQAP OOH, 1982*). Ümumiyyətlə götürdükdə, radiasiya müxtəlif zədələnmələrə uyğun təsirləri yalnız müəyyən bir minimal şüalanma dozasından (astana qiymətindən) böyük dozalarda yarada bilər.

Xərçəngin müalicəsi məqsədi ilə istifadə olunan şüa terapiyasının nəticələrinin təhlili bu sahədə müəyyən məlumatlar əldə etməyə, şüalanmaya insan toxumalarının reaksiyası haqqında konkret nəticələr almağa imkan verdi. Müəyyən olundu ki, müxtəlif orqan və toxumaların bu təsirə reaksiyası fərqli olur və bu fərq bəzi hallarda çox böyük olur.

Bu zaman orqanizmin zədələnmə dərəcəsini müəyyən edən dozanın qiyməti orqanizmin onu ani (bir dəfədən) və yaxud da bir neçə pillədən qəbul etməsindən asılı

olur. Əksər orqanlar radiasiya zədələnmələrini bu və ya digər dərəcədə bərpa etməyə (sağaltmağa) imkan tapırlar və buna görə də bir dəfəyə qəbul olunmuş doza ilə müqayisədə fasiləli qəbul olunan kiçik dozalar seriyasına asanlıqla tab gətirirlər.

Şəkil 8.1 - də diaqramlar formasında şüa terapiyasında insan orqanizminin ayrı-ayrı orqanları üçün yolverilən doza həddinin göstəriciləri öz əksini tapmışdır. Şəkildə qeyd olunan dozaları pasiyent heç bir zərərə məruz qalmadan həftə ərzində 5 seansda qəbul edə bilər.



Şəkil 8.1. İnsan orqanizminin ayrı-ayrı orqanları üçün yolverilən doza həddləri.

Diaqramlar insan orqanizminin ayrı-ayrı orqan və toxumalarının şüalanmaya həssaslığının nə qədər fərqlənməsi haqqında əyani təsəvvür yaradır.

Şüalanma dozası kifayət qədər yüksək olan halda şüalanmaya məruz qalan insan sağ qalmır. 100 Qr tərtibində olan böyük şüalanma dozası mərkəzi sinir sistemində elə ciddi zədələnmələr yaradır ki, nəticədə şüalanmış insan bir neçə saat (və ya bir neçə gün) ərzində məhv olur (şəkil 8.2).

Bütöv orqanizmin 10-50 Qr dozalı şüalanmaya məruz qalması halında mərkəzi sinir sistemində letal sonluğa gətirib çıxara bilən ciddi zədələnmələr baş vermir. Buna baxmayaraq, mədə-bağırsaqlar traktında baş verən qansızmalar şüalanmış insanın bir neçə həftədən sonra məhv olmasına səbəb olur. Bu dozalardan kiçik dozalarda mədə-bağırsaqlar traktında ciddi zədələnmələr baş verməyə bilər. Ciddi zədələnmələr baş verən halda isə orqanizmin onunla "mübarizə" apara bilməsinə baxmayaraq, qanəmələgətirmə sisteminin əsas komponenti olan qırmızı sümük ilişi hüceyrələrinin dağılması nəticəsində şüalanmadan bir-iki ay sonra orqanizm məhv ola bilər.



Şəkil 8.2. Letal dozalar və letal sonluğa uyğun müddətlər.

Müəyyən edilmişdir ki, 3-5 Qr şüalanma nəticəsində bu hüceyrələrin təxminən yarısı məhv olur (*Радиация. Дозы, эффекты, риск, 1990*).

Beləliklə, qeyd olunan dozalar oblastında böyük dozalar kiçik dozalardan onunla fərqlənir ki, birinci halda ölüm ikinci hala nisbətən daha tez baş verir. Qanyaratma sisteminin digər elementləri də, qırmızı sümük iliği kimi, şüalanmaya daha çox həssas olurlar və 0.5-1 Qr şüalanma dozasında normal fəaliyyət göstərmək qabiliyyətini itirirlər.

Əgər radioaktiv şüalanma bütün hüceyrələrin şüalanmasına səbəb ola bilən çox da böyük dozaya malik deyilsə, başqa sözlə desək, əgər şüalanma dozası hüceyrələrin hamısını məhv etmək həddinə çatmırsa, belə olan halda regenerasiya qabiliyyətinə malik qanəmələgətirmə sistemi öz fəaliyyətini tamamilə bərpa edə bilər. Dediklərimizdən aydın olur ki, qırmızı sümük iliği və qanəmələgətirmə sisteminin digər elementləri şüalanmaya daha çox həssas olurlar və kiçik 0.5 - 1.0 Qr şüalanma dozasında belə normal fəaliyyətini itirirlər.

Göz və nəsiləmələgətirmə orqanları da şüalanmaya yüksək həssaslığı ilə fərqlənilər. Gözün radiasiyanın təsirinə ən həssas olan hissəsi göz büllurudur. Şüalanmanın təsiri ilə ölmüş hüceyrələr qeyri-şəffaf olurlar ki, bu da, son nəticədə katarakta və daha sonra isə tam korluğa gətirib çıxarır. Şəffaflığın itməsi 2 Qr və ondan kiçik dozalarda baş verir. Proqressiv katarakta 5 Qr - ə yaxın dozalarda baş verir.

Toxumluğun (xayanın) 0.1 Qr doza ilə birdəfəlik şüalanmaya məruz qalması kişilərin müvəqqəti sterilliyinə (toxum əmələgətirmək qabiliyyətinin itməsinə) səbəb olur. 2 Qr - dən yüksək şüalanma dozası isə daimi sterilliyə gətirib çıxara bilər və yalnız bir neçə ildən sonra bu orqan normal sperma əmələgətirmək qabiliyyətini bərpa edə bilər.

Yumurtalıq (əsasən də yaşlı qadınlarda) radiasiyanın təsirinə nisbətən kiçik həssaslıq göstərir. Buna baxmayaraq 3 Qr - dən yüksək birdəfəlik şüalanma dozası qadınların sterilliyinə gətirib çıxarır. Hissələrlə qəbul olunmuş dozalar isə nəsilartırma qabiliyyətinə, demək olar ki, təsir göstərmir.

Yaşlı adamların əksər toxumaları radiasiyanın təsirinə nisbətən kiçik həssaslıq göstərilir. Böyrəklər heç bir mənfi təsirlə nəticələnməyən beş həftə ərzində qəbul olunmuş 23 Qr - ə qədər yekun dozaya tab gətirə bilirlər. Qara ciyər ay ərzində 40 Qr - ə, sidik kisəsi 4 həftə ərzində 55 Qr - ə, tam inkişaf etmiş qığırdaq toxumaları isə 70 Qr - ə qədər şüalanmaya dözə bilirlər

Kifayət qədər mürəkkəb orqan olan ağ ciyər radiasiyanın təsirinə çox həssasdır. Buna görə də şüalanmanın hətta kiçik dozalarında belə, onda əhəmiyyətli dəyişikliklər baş verə bilər.

Orqanizmin ayrı-ayrı orqanlarının zədələnməsinə və sonradan isə onların məhvinə səbəb olan udulma dozası bütöv bədənin şüalanmasının məhvəddici udulma dozasından böyük olur. İnsan bədəninin ayrı-ayrı orqanlarının məhvəddici udulma dozası üçün aşağıdakı rəqəmlər alınmışdır: baş - beyin - 20 Qr, qarının aşağı hissəsi - 30 Qr, qarının yuxarı hissəsi - 50 Qr, döş qəfəsi - 100 Qr, ətraf sonluqlar - 200 Qr.

7. Hər bir orqanizm bütövlükdə şüalanmanın təsirinə eyni formada reaksiya vermir. Şüalanmaya uşaqlar daha çox həssas olurlar. Çox da böyük olmayan doza şüalanmasına məruz qalan uşaqlarda qığırdaq toxumaları sümüyün inkişafını ləngidə və yaxud da tamamilə dayandıra bilər ki, bu da, skeletin anormal inkişafına səbəb ola bilər. Gündəlik şüalanma halında bir neçə həftə ərzində qəbul edilmiş yekun 10 Qr doza kifayət edir ki, skeletin anormal inkişafı baş versin. Şüa terapiyası zamanı uşaq beyinin şüalanmaya məruz qalması onun xarakterində dəyişiklik yaratmaqla yanaşı, həm də onda yaddaşın itməsinə səbəb olur. Azyaşlı uşaqlarda isə bu, əqli zəifliyə gətirib çıxarır.

İnkişafda olan embrionun və ya rüşeymin radiasiyanın təsirinə daha yüksək həssaslıq göstərməsinə dair çoxlu sayda məlumatlar vardır. Mayalanmanın birinci və altıncı həftələri arasında, məlum olduğu kimi, embrionun orqonogenez müddəti başlayır. Bu müddət ərzində ayrı-ayrı orqanların inkişafı başlayır. Buna görə də şüalanma orqonogenez müddətində bir və ya bir neçə orqanın inkişafını poza bilər ki, bu da, uşağın anomaliyasına və yaxud da eybəcər uşağın formalaşmasına səbəb ola bilər. Bu səbəbdən də hamilə qadınların hamiləliyin ilkin həftələrində radiasiyanın təsirindən kənar olmaları məsləhət görülür.

Onu da qeyd edək ki, bu, o müddətdir ki, həmin ərafədə hamiləlik müəyyən edilməyə də bilər. Buna görə də qadının təhlükəsizliyinin təmin edilməsinin yeganə üsulu "on gün qaydası" adlanan qaydaya ciddi riayət edilməsidir. Bu qaydaya əsasən nəsilvermək yaşında olan qadınlar rentgen müayinəsindən yalnız fizioloji tsiklin başlamasının ilk on günü ərzində keçməlidirlər. Məlum olduğu kimi, bu müddət ərzində yumurta mayalanması baş verə bilməz. Hamiləliyin son mərhələlərində tam formalaşmış döl rentgen şüalarının dağıdıcı təsirinə az həssas olduğundan, həmin vaxtlarda rentgen müayinəsindən keçmək məqbul hesab oluna bilər.

Hamiləlik dövrünün səkkizinci və on beşinci həftələri arasında şüalanmaya məruz qalan ana bətnində inkişaf edən dölün beyni bu təsirə ən böyük həssaslıq göstərir. Bu ərafədə döldə beyin formalaşdığından şüalanmanın təsiri əqli cəhətdən inkişaf etməmiş uşağın doğulmasına səbəb olur.

Burada xüsusi olaraq belə bir faktı vurğulamaq yerinə düşərdi. Məlum olduğu kimi, yodun radioaktiv izotopları (yarımparçalanma periodu 8 sutka olan $I-131$, yarımparçalanma periodu 7 saat olan $I-135$ və yarımparçalanma periodu 20 saat olan $I-133$ izotopları) qalxanvari vəzidə yüksək həssaslıqla toplanır.

Təkcə $I-131$ izotopunun insan orqanizminə daxil olması qalxanvari vəzinin radioaktivliyini bütün digər toxumaların radioaktivliyi ilə müqayisədə 200 dəfəyə qədər artırır. Bu isə südəməz uşaqlar üçün daha təhlükəli olur. Belə ki, onların qalxanvari vəziləri yaşlılarla müqayisədə kütləyə görə ~10 dəfə kiçik olur (qalxanvari vəzilərin kütlələri uşaqlar və yaşlılar üçün, uyğun olaraq, 2 və 20 q təşkil edir). Buna görə də udulan havada və ya qəbul olunan süddə radioaktiv yodun eyni konsentrasiyası halında uşağın qalxanvari vəzisinin şüalanma dozası böyüklərlə müqayisədə bir tərtib yüksək olur.

8. Orqanizmin zədələnmə dərəcəsi şüalanın səthin ölçüsündən asılı olur.

9. Radiasiyanın bioloji təsiri şüalanmanın tezliyindən asılı olur və böyük dozalarda birdəfəlik şüalanma daha kəskin təsirlər yaradır.

10. Qeyd etmək lazımdır ki, ionlaşdırıcı şüalanmanın təsiri şüalanmanın vaxt rejimi, doza gücü, udulan dozanın bədəndə paylanması, şüalanmanın növü və s. kimi faktorlardan da əhəmiyyətli dərəcədə asılı olur. Artıq qeyd etdiyimiz kimi, stoxastik effektlər astanasız effektlər hesab olunur və onların yaranma ehtimalı şüalanmış şəxsin topladığı yekun doza ilə mütənasib olur (*Шафуркин А.В., 1999 ; Москалев Ю.И., 1991*).

Belə şüalanma leykomiya və yaxud da ağ ciyər, süd vəzi, dəri xərçəngi, sarkoma kimi bədxassəli şişlər yarada bilər. Şüalanmanın mümkün uzaq təsirlərinə, həmçinin, göz bəllurunun zədələnməsi, kataraktanın yaranması (*Миловидова И.А., 1983*) da daxildir.

11. Tibbi statistik müşahidələr göstərir ki, adi toksikantlarla çirklənmiş mühitdə şüalanmanın yaratdığı onkoloji xəstəliklər kəskin artır. Məsələn, radiasiyanın təsirinə məruz qalmış siqaret çəkənlər üzərində müşahidələr həmin qrupdan olan siqaret çəkməyənlərlə müqayisədə ölüm hallarının çox olduğunu göstərir.

12. Radiasiyanın təsirinin başqa bir təzahür forması onun ümumi yaş həddinə təsir göstərə bilməsidir. Müəyyən edilmişdir ki, 10^{-2} Qr - ə bərabər standart şüalanma hesabı ilə nisbətən kiçik doza gücündə (10^{-2} Qr/sutka) yaşama müddəti 3 gün -ə qədər, 0.5 Qr/sutka - ya bərabər doza gücündə isə 10 gün -ə qədər azala bilər (*Москалев Ю.И., 1991*). Sadə hesablama yolu ilə göstərmək olar ki, 1 Qr - ə qədər ümumi şüalanma dozasının qəbul olunması kiçik doza gücündə yaşama müddətini $3 \cdot 10^2 \text{ gün}$ (yəni ~1 il - ə qədər), böyük doza gücündə isə 10^3 gün (yəni ~3 il - ə qədər) azaldır.

8.3. Radiasiyanın insan orqanizminin immun sisteminə təsiri.

Canlı orqanizmin hər bir orqanı özünə xas olan funksiyanı həyata keçirir. Bu halda immun sisteminin funksiyası orqanizmə daxil olan bütün yad maddələri müəyyənləşdirmək və onları orqanizmdən kənarlaşdırmaqdır. Yad maddələrə misal olaraq, mikrobları, virusları, göbələkləri və hətta immun sisteminin özünün ətraf mühit faktorlarının təsiri ilə dəyişmiş və yad maddəyə çevrilmiş məxsusi hüceyrə və toxumalarını göstərmək olar.

Bir sözlə desək, immun sistemi orqanizmin immunitetini formalaşdırır ki, bu da, immun sisteminin yad maddələri orqanizmdən kənarlaşdırmaq qabiliyyətidir.

Təcrübələrin nəticələri orqanizmdən kənar (sınaq şüşəsində) və canlı hüceyrələrin tərkibində olan bioloji makromolekulların radiasiyaya həssaslığının fərqli olduğunu göstərir. Orqanizmdən kənar qeydə almaq belə mümkün olmayan 10^{-3} - 10^{-1} sayda DNT zədələnmələri xüsusi əhəmiyyət kəsb etmədiyi halda, bu makromolekulun həmin sayda zədələnmələri canlı hüceyrə daxilində böyük dağıntılara gətirib çıxarır. Bu fərqi hər şeydən əvvəl iki əsas səbəbi ola bilər. Birincisi, genləri əmələ gətirən DNT makromolekulları çox nadir quruluşa malik birləşmələr olaraq, hüceyrə nüvələrində bir, iki və ya bir neçə nüsxədə olurlar ki, bu da onların təkrarlanmasının məhdudlaşması deməkdir. İkincisi, canlı hüceyrədə və ümumilikdə bütün orqanizmdə ilkin effekti dəfələrlə gücləndirən müxtəlif növ mexanizmlər mövcuddur. Belə güclənmə, məsələn, cinsi hüceyrədə yalnız bir genin dəyişməsinin (mutasiyasının) sonrakı mayalanma və dölün inkişafı proseslərində orqanizmin bütün hüceyrələrində makromolekulların struktur və fizioloji funksiyalarında kənarəçixmələr formasında özünü göstərir.

Hal - hazırkı dövrdə şüalanma nəticəsində somatik hüceyrələrin məhvi prosesi daha geniş formada öyrənilmişdir. Radiasiya ilə kontakt nəticəsində hüceyrələrin məhvinə iki əsas növə ayırırlar: birincisi – *reproduktiv*, yəni hüceyrə bölünən anda onun məhvi, ikincisi – *interfaza*, yəni ardıcıl bölünmələr arasında hüceyrənin "*dincəlməsi*" zamanı onun məhvi. Hər iki halda hüceyrənin məhvinin əsas səbəbi xromosomun pozulması, daha dəqiq desək, DNT molekulunda qırılmaların əmələ gəlməsidir.

Məlum olduğu kimi, hər bir xromosom iki DNT "sapından" (spiralından) təşkil olunur. Radioaktiv şüalanmanın udulma dozasından asılı olaraq, bu cür qırılmalar bir ipdə və yaxud da hər iki ipdə baş verə bilər. Qeyd edək ki, bir ipdə baş verən tək qırılmalar asanlıqla bərpa olunurlar. Belə ki, bu məqsəd üçün hər bir hüceyrənin bərpaedici fermentlər toplusuna malik xüsusi reparasiya sistemi vardır. Əgər eyni zamanda hər iki ipdə qırılma baş verərsə, onda iplər ayrılır və reparasiya mümkün olmur. Son nəticədə isə hüceyrə məhv olur.

İntensiv şüalanma halında, demək olar ki, istənilən bölünən hüceyrə, ilk növbədə isə hər iki ipində qırılma baş verən DNT -yə malik hüceyrə məhv olur (bu formada məhvolma "*reproduktiv ölüm*" adlanır).

İnterfaza ölümü "*dincələn*" hüceyrələrin "*yetişməsi*" prosesi ilə əlaqəli olur və limfositlər daxil olan az sayda hüceyrə növlərinə aiddir. İnterfaza hüceyrələri çox tez,

daha dəqiq desək, şüalanmadan sonra təxminən bir sutka ərzində məhv olurlar. Qeyd edək ki, bu prosesin başvermə mexanizmi sona qədər öyrənilməyib. Sadəcə olaraq, fərz edilir ki, "interfaza ölümü" təbii, genetik proqramlaşdırılmış hüceyrə məhvinin sürətlənməsidir. Hesab olunur ki, radiasiyanın təsiri ilə əvvəlcə DNT makromolekulu parçalanır, bundan sonra isə hüceyrə membranlarında onların bütövlüyünün bərpa olunmaz pozulmaları başlayır.

Qeyd edək ki, hüceyrənin bu formada məhvi təkcə radiasiya şüalanmasının təsiri ilə deyil, həm də *UB* - şüaların təsiri ilə yaranır (*Усманов С.М., 2001*).

Baxdığımız hər iki növ hüceyrə məhvinə səbəb ali orqanizmlərin radiasiya ilə zədələnməsidir. Bu prosesdə limfositlərin məhv olması digər immun sistemi elementlərinin də növbə ilə (iki mərhələdə) dağılmasına səbəb olur. İmmun sistemi orqanlarının ilkin dağılması hüceyrələrin interfaza ölümü, sonrakı dağılması isə onların reproduktiv ölümü nəticəsində yaranır. Bu zaman reproduktiv ölümə intensiv yeniləşən bütün toxumalar məhkum olurlar. Onların sırasına qanəmələgətirmə, immun, generativ toxumalar, bağırsaqların selikli qişa toxumaları və s. daxildir. Məhz onların zədələnməsi şüa xəstəliyi adlanan patoloji prosesin əsas hissəsini təşkil edir.

8.4. Şüalanmanın uzaq təsirləri

Şüa xəstəliyi. Şüalanmanın sonradan yarada biləcəyi mümkün təsirlər, yəni onun uzaq təsirləri üzərində ətraflı dayanaq. Əvvəlcə somatik (determinasiya) effektlərin uzaq təsirlərinə baxaq. Radioaktiv şüalanmanın udulma dozəsindən və şüalanmış şəxsin fərdi xüsusiyyətlərindən asılı olaraq bu təsirin nəticələri şüalanmadan sonra bir neçə dəqiqədən *30 - 60 sutka* - ya qədər keçən müddət ərzində özünü göstərə bilər. Kifayət qədər ağır zədələnmələr şüalanmanın nisbətən yüksək dozalarında (*0.5 Qr* - dən yüksək) və yüksək doza gücündə (*bir neçə Qr/saat* - dan böyük) mümkündür.

Radiasiya zədələnməsinin (şüa xəstəliyinin) ilkin simptomlarına yorğunluq, iş qabiliyyətinin və iştahanın itməsi, ürəkbulanması, qusma kimi prodromal reaksiyaları misal göstərmək olar. Şüalanma dozası yüksək olduqca, adı çəkilən əlamətlər daha böyük ehtimalla və daha kəskin şəkildə özünü göstərir. Kliniki zəif təzahür olunan prodromal reaksiyalar böyük ehtimalla *0.1 Qr* - dən yüksək dozalarda özünü göstərir. Bu halda *1.5-2 Qr* dozalarda şüa xəstəliyinin yüngül forması mümkündür ki, bu da, şüalanmanın ilk günlərində şüalanmaya məruz qalmış insanların *30 - 50 %* - ində prodromal reaksiyalarla (qusma da daxil olmaqla) müşayiət olunur. Bu zaman tükün tökülməsi və dərinin zədələnməsi kimi hallar da yolveriləndir (*Барсуков О.А., Барсуков К.А., 2003*)

Radiasiya zədələnməsinin dərəcəsindən asılı olaraq, qan dövranı sisteminin şüalanmadan keçən *10 gün* ərzində özünü biruzə verən limfopeniya, trombopeniya və s. kimi zədələnmələri baş verə bilər. Bu proses, adətən, letal sonluqla müşahidə olunur.

Nisbətən yüksək 2.5 - 4.0 Qr dozalarda orta ağırlıq dərəcəli şüa xəstəliyi inkişaf edir. Bu zaman prodromal reaksiyalar şüalanmaya məruz qalan insanların, demək olar ki, hamısının qanında leykositlərin miqdarının kəskin azalması və dərialtı qansızmaları ilə müşayiət olunur. Bir neçə həftədən sonra şüalananların ~ 20 % - ində letal sonluq müşahidə olunur ki, bu da, əsasən sümük iliği hüceyrələrinin dağılması hesabına baş verir (*Шафуркин А.В., 1999; Ушаков И.Б., Карпов В.Н., 1997*).

4.0-6.0 Qr dozalarda şüa xəstəliyinin ağır forması baş verir. Bu zaman ilk ay ərzində 50 % - ə qədər xəstə həyatla vidalaşır. 6.0 Qr - dən böyük dozalarda şüa xəstəliyi çox ağır formada özünü göstərir. Belə ki, şüalanmaya məruz qalanların, demək olar ki, hamısı qansızması və ya infeksiya xəstəlikləri nəticəsində məhv olur. 10-50 Qr dozalarda letal sonluq 1-2 həftə ərzində, əsasən mədə - bağırsaqlarında qansızmaların hesabına, 100 Qr - ə qədər dozalarda isə bir neçə saat ərzində sinir sisteminin güclü zədələnməsi hesabına baş verir (*Гуськова А.К., Байцоголов Г.Д., 1971*).

Şüa xəstəliyinin kəskin formasını yaradan dozalardan kifayət qədər kiçik dozalarda şüalanmaya məruz qalma stoxastik effektlər törədə bilər. Məlum olduğu kimi, bu effektlərin aylar, bəzən də illərlə davam edən gizli inkişaf periodu mövcuddur və yalnız bu müddətdən sonra radiasiyanın təsirləri özünü biruzə verməyə başlayır.

Qeyd edək ki, şüa xəstəliyi – orqanizmdən kənar olan və yaxud da orqanizmə hər hansı yolla daxil olmuş radionuklidlərin yaratdığı şüalanmanın nəticəsində yaranan xəstəlikdir.

Dediklərimizi ümumiləşdirərək, şüa xəstəliyini ağırlıq dərəcəsinə görə yüngül (1.0 - 2.5 Qr), orta (2.5 - 4 Qr) və ağır (4 - 6 Qr) kimi üç qrupa bölmək olar. Daha yüksək dozalarda xəstəliyin ən ağır forması inkişaf edir ki, bu da orqanizmin ölümü ilə nəticələnir.

Dediklərimiz ümumiləşmiş şəkildə cədvəl 8.1-də öz əksini tapmışdır.

Şüa xəstəliyinin inkişafında onun təzahürünün ümumiləşmiş dörd mərhələsi müşahidə olunur. İlk yüngül mərhələdə tibbi müayinənin qanın tərkibində dəyişikliyin olduğunu göstərməsinə baxmayaraq, xəstəlik hansısa klinik əlamətlərə malik olmur və xəstə heç nədən şikayət etmir. Sonradan isə xəstədən ümumi halsızlıq, zəiflik, yorğunluq, iştahın və yuxunun pozulması, dərinin quruması və qabıq verməsi və s. haqqında şikayətlər eşidilir.

Şüa xəstəliyinin ikinci (orta) mərhələsində birinci mərhələnin bütün simptomları daha aydın şəkildə özünü göstərməyə başlayır. Bu halda xəstələr tez-tez baş ağrılarından, yaddaşın zəifləməsindən, ürək nahiyəsində ağrılardan, cinsi hissiyyətin zəifləməsindən, yuxusuzluqdan şikayət edirlər. Dərialtı qansızmaları, damağın qanaması da bu mərhələ üçün xarakterikdir. Qeyd edək ki, belə olan halda radiasiyanın təsir dairəsindən kənarlaşmaqla və ciddi müalicə qəbul etməklə bu vəziyyətdən çıxmaq mümkün olur.

Əgər radiasiya ilə təmas davam edirsə, onda xəstəlik üçüncü mərhələyə - ağır mərhələyə qədəm qoyur. Bu mərhələ hər şeydən əvvəl xəstəliyin dönməz əlamətləri ilə xarakterizə olunur. Xəstələrdə kəskin zəiflik, apatiya (sütlük), ətrafdakilərə

Orqanizmin ümumi şüalanması halında bioloji sonluqlar şkalası.

Doza (Qr)	Bioloji effekt
10^{-3} -dən kiçik	Həyatfəaliyyətinin zəifləməsi
$(2-3) \cdot 10^{-3}$	Əlverişli həyarfəaliyyəti
$(2-50) \cdot 10^{-3}$	Həyatfəaliyyətinin stimullaşması
$(5-10) \cdot 10^{-2}$	Mutasiyaların qeydə alınması
0.1 – 0.5	Müvəqqəti kişi sterilliyi
0.5 – 1.0	Qan dövrəninə pozulması, ilkin immunitet pozulmaları, mutasiyaların cütlənməsi, bədxassəli törəmələrin çoxalması
1.0 – 2.5	Şüa xəstəliyinin yüngül formasının əmələ gəlməsi
2.5 – 4.0	Orta ağırlıq dərəcəli şüa xəstəliyinin inkişaf etməsi (orta yaş həddinin 3-9 il azalması)
4.0 – 6.0	Çox ağır formada şüa xəstəliyinin özünü göstərməsi (şüa xəstəliyinin sümük-beyin formalarının özünü biruzə verməsi)
6.0 – 10	Şüa xəstəliyinin bağırsağ formasının özünü biruzə verməsi (bağırsağın selikli toxumasının ağır zədələnməsi, 3-12 gün -dən sonra letal sonluq)
10 - 100	Şüa xəstəliyinin beyin formasının özünü biruzə verməsi (komatoz halı, 1-2 saat -dan sonra letal sonluq)
~ 2000	Bilavasitə şüa altında ölüm

laqeydlik, baş gicəllənməsi ilə müşayiət olunan kəskin baş ağrıları, ürək bulanması, qusma, yaddaşın kəskin zəifləməsi, yuxunun pozulması, qanın tərkibinin əhəmiyyətli dərəcədə dəyişməsi və s. müşahidə olunur. Bəzi hallarda beyinə və daxili orqanlara kiçik qansızmaları kimi lokal zədələnmə əlamətləri də qeydə alınır. Xəstələr yataq rejiminə keçirlər və onların tam sağalması mümkün olmur.

Şüa xəstəliyinin dördüncü mərhələsi onun həddən artıq ağır formalı mərhələsidir. Bu mərhələdə çoxlu sayda qansızmalar və onların yerlərində yaralar yaranır. Orqanizmin infeksiyaya qarşı müqaviməti, praktiki olaraq, yox olur və əksər xəstələr sağ qalmırlar.

Xərçəng. Xərçəng – kiçik dozalı şüalanmanın yarada biləcəyi uzaq nəticələrin ən ciddiəsidir. Həqiqətən də, 1945 - ci il Xerosima və Naqasaki bombardmanlarını, həmçinin də 1986 - cı il Çernobil faciəsini yaşamış insanlar üzərində aparılan tədqiqatlar göstərdi ki, bu qəbildən olan insanlarda yüksək ölüm dərəcəsinin yeganə səbəbi xərçəng olmuşdur.

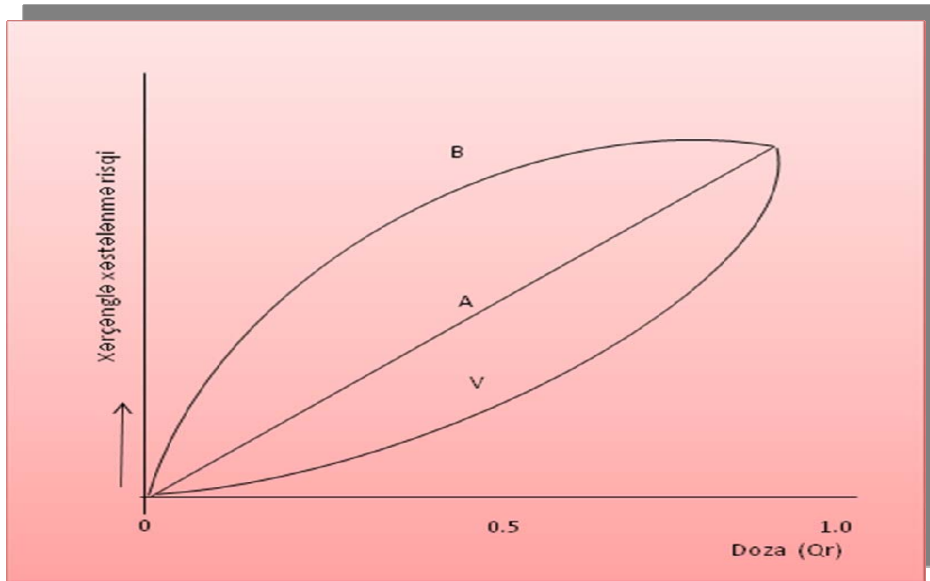
ARTEK və bu sahədə tədqiqatlar aparən digər təşkilatlar radioaktiv təsirin qiymətləndirilməsində iki faktı əsas götürmüşlər. Birinci fakt ondan ibarət olmuşdur ki, xərçənglə xəstələnmə riski yaratmayan ən kiçik doza sərhəddi mövcud deyildir. İstənilən kifayət qədər kiçik şüalanma dozası bu dozayı qəbul etmiş insanın xərçəngə yoluxma ehtimalını yaradır və istənilən əlavə doza qəbulu bu ehtimalı daha da artırır.

İkinci fakta görə isə xərçənglə xəstələnmə riski və xəstələnmə ehtimalı şüalanma dozasının qiyməti ilə düz mütənəsblik təşkil edir. Başqa sözlə desək, 2 qat doza qəbulu bu riski 2 dəfə, 3 qat doza qəbulu bu riski 3 dəfə və s. artırır.

Tədqiqatçılar müxtəlif bombardmanlardan sonra sağ qalmış insanlar üzərində aparılan müayinələr əsasında 1 *Qr* ekvivalent doza qəbulu zamanı xərçənglə xəstələnmə ehtimalının təqribi qiymətini müəyyənləşdirə bilməmişlər. Tədqiqatçılara həmçinin məlumdur ki, şüalanma olmayan halda radiasiya təhlükəsi sıfır bərabərdir. Qeyd edək ki, tədqiqatçılar bu gün orta dozalar haqqında müfəssəl məlumatlara malik deyillər. Orta dozalar haqqında məlumatları yalnız böyük doza riskini kiçik dozaya ekstrapolyasiya etmək yolu ilə əldə etmək olur.

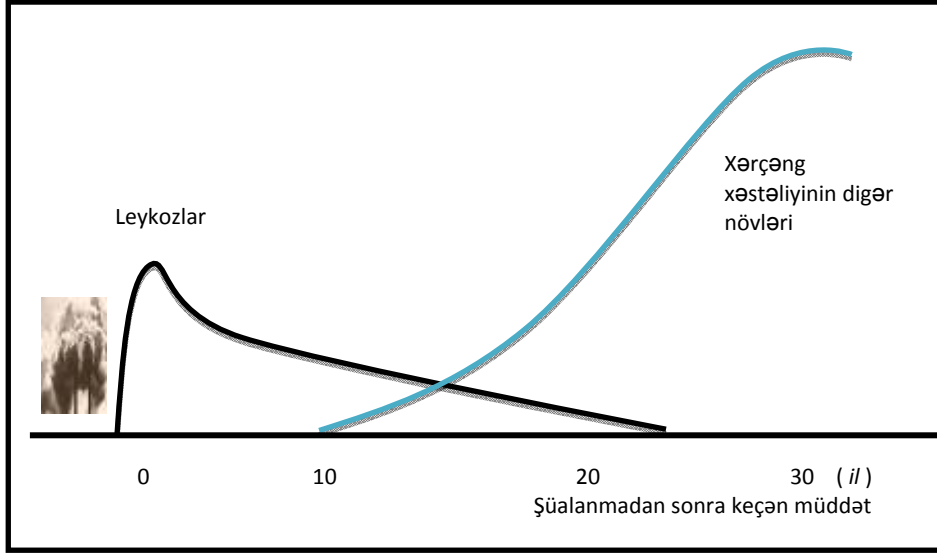
Şəkil 8.3 -də doza-effekt əyrilərinin bu cür ekstrapolyasiyanın müxtəlif variantları öz əksini tapmışdır. **A** variantında hesab olunur ki, xərçənglə xəstələnmə ehtimalı dozaya düz mütənəsb olaraq artır. **B** variantında bu asılılıq qabarıq xətt verir ki, bu halda da hesab olunur ki, aşağı doza oblastında dozanın artması xəstələnmə riskinin böyük sürətlə, yuxarı doza oblastında isə kiçik sürətlə artmasına səbəb olur. **V** variantında bu asılılığın çökük xətt olması görünür. Belə məlum olur ki, bu halda, tərsinə, aşağı doza oblastında dozanın artması xəstələnmə riskini kiçik, yuxarı doza oblastında isə böyük sürətlə artırır.

Qeyd edək ki, ARTEK və digər təşkilatlar A variantından, yəni xəstələnmə riskinin dozadan asılı olaraq xətti dəyişməsindən istifadə edirlər.



Şəkil 8.3. Doza - effekt əyrilərinin ekstrapolyasiyanın müxtəlif variantları.

Şəkil 8.4 -də bütöv orqanizmin bərabər miqdarda bir dəfəlik 1 rad (0.01 Qr) udulma dozası qəbul edən halda xərçənglə xəstələnmə ehtimalının orta statistik əyrləri göstərilmişdir. Qeyd edək ki, Xerosima və Naqasaki bombardmanlarını yaşamış insanlar üzərində aparılan tədqiqatlar əsasında qurulmuş bu qrafiklərdə bədxassəli şişlərin əmələ gəlməsinə uyğun müddətlər şüalanmadan sonra keçən müddətlərin təxmini qiymətləridir.



Şəkil 8.4. Şüalanmaya məruz qalmış insanların xərçənglə xəstələnmə ehtimalının şüalanmadan sonra keçən müddətdən asılılığı.

Qrafiklərdən görüldüyü kimi, şüalanmaya məruz qalmış insanlarda ikiillik gizli perioddan sonra leykozlar inkişaf edir və bir neçə ildən sonra onların tezliyi maksimal olur. Daha sonra bu tezlik müntəzəm azalmağa başlayır və $\sim 25 \text{ il}$ -dən sonra sifra bərabər olur. Daha ciddi bədxassəli törəmələr isə şüalanmadan 10 il sonra inkişaf etməyə başlayır.

Qeyd edək ki, şüalanmadan keçən 30 il -dən sonra nələrin baş verə biləcəyi barədə məlumatlar olmadığından qrafiki davam etdirmək mümkün deyil.

Bu günə qədər əldə olunan məlumatlar göstərir ki, şüalanma nəticəsində yaranan xərçəng xəstəlikləri arasında birinci yerdə leykozlar durur ki, bunlar da şüalanma anından $\sim 10 \text{ il}$ sonra insanların ölümünə səbəb olur. Şəkildən görüldüyü kimi, bu müddət, digər xərçəng xəstəlikləri ilə müqayisədə, çox kiçikdir. ARTEK - in hesablamalarına əsasən udulan hər Q_{rey} şüalanma dozası orta hesabla hər 1000 nəfərdən ikisinin leykozdan ölümünə səbəb olur (*HKДAP OOH, 1982*).

Müəyyən edilmişdir ki, Xerosima və Naqasaki faciəsini yaşamış insanlar

arasında leykozlardan ölənlərin sayı 1970 - ci ildən sonra kəskin azalmışdır.

Radiasiyanın yaratdığı xərçəngin ən geniş yayılmış növü süd vəzilərinin və qalxanvari vəzilərin xərçəngidir. ARTEK - in hesablamaları 1Qrey fərdi udulma dozası hesabı ilə şüalanmaya məruz qalmış hər 1000 nəfərdən təxminən onunda qalxanvari vəzin xərçənginin, hər 1000 nəfər qadından onunda isə süd vəzilərinin xərçənginin olmasını göstərir (HKДAP OOH, 1982).

Xərçəngin adı çəkilən formalarının geniş yayılmasına baxmayaraq, onlar, prinsipcə, müalicə oluna bilən formalardır. Bu səbəbdən də qalxanvari vəzidən ölüm halı çox aşağıdır. Belə ki, hər Qrey şüalanma üçün qalxanvari vəzin xərçəngindən ölüm halı hər 1000 nəfərdən 1, süd vəzilərinin xərçəngindən ölüm halı isə hər 1000 nəfərdən 5 nəfər təşkil edir.

Bunun əksinə olaraq, ağ ciyər xərçəngindən ölüm halı çox yüksəkdir. Qeyd edək ki, xərçəngin bu növü də şüalanmaya məruz qalmış insanlar arasında çox geniş yayılmışdır.

Aydın olmuşdur ki, şüalanmaya məruz qalmış insanlar arasında digər orqan və toxumaların xərçənginə çox az təsadüf olunur. ARTEK - in nəticələrinə görə mədə, qara ciyər, yoğun bağırsağ xərçəngindən ölmə ehtimalı hər bir Qrey şüalanma dozası üçün $\frac{1}{1000}$ - ə bərabər olur. Sümük toxumalarının, qida borusunun, nazik bağırsağın, sidik

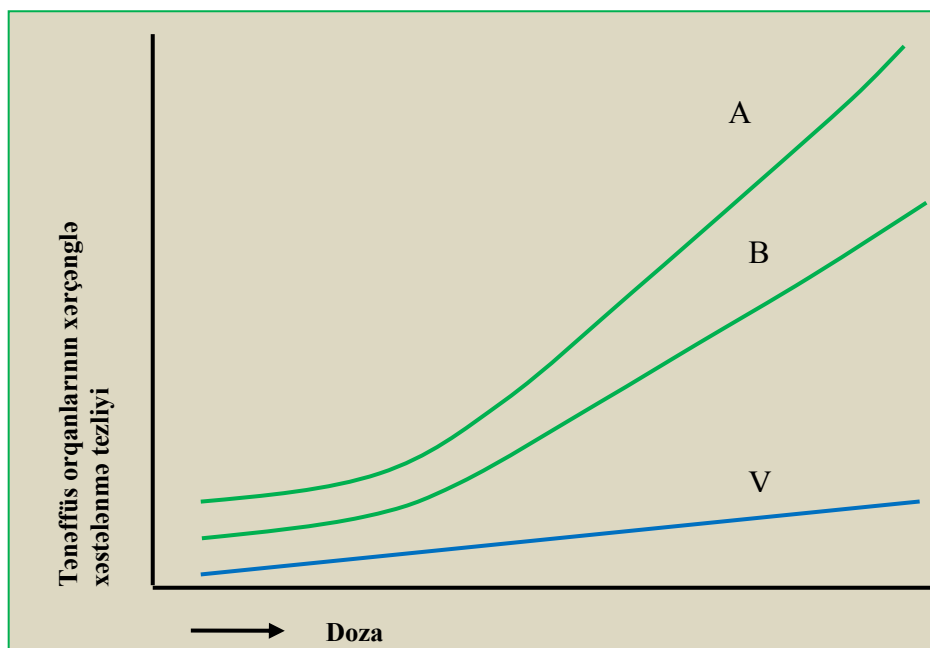
kisəsinin, mədəaltı vəzinin, düz bağırsağın və limfa toxumalarının xərçəngə tutulma ehtimalı daha aşağı olub, $\frac{0.2 - 0.5}{1000}$ - ə bərabərdir (HKДAP OOH, 1982).

Qeyd edək ki, uşaqlar, yaşlılarla müqayisədə, şüalanmaya daha həssas olurlar. Şüalanma zamanı ana bətnində inkişaf edən dölün xərçəngə tutulma ehtimalı isə bundan da yüksək olur.

Bu gün daha bir neçə mürəkkəb məsələnin öyrənilməsinə böyük ehtiyac vardır. Onlardan birinin üzərində dayanmaq. Radioaktiv şüalanmanın bəzi hallarda xərçənglə xəstələnmə tezliyini artırma bilən müxtəlif kimyəvi və bioloji maddələrə təsir göstərə bilməsi faktları məlumdur. Aydınır ki, bu məsələ xüsusilə böyük əhəmiyyət kəsb edən məsələdir. Belə ki, radiasiya bizi hər yerdə müşayiət edir və müasir həyatımızda biz radiasiya ilə qarşılıqlı təsirdə olan çoxlu sayda maddələrdən istifadə edirik. ARTEK bir çox maddələrin radiasiya ilə qarşılıqlı təsirinə dair çoxlu sayda təhlillər aparmış və kifayət qədər tutarlı nəticələr əldə edə bilmişdir. Əksər maddələr üçün mübahisə doğuran məqamlar olmasına baxmayaraq, bir halda, daha dəqiq desək, tütün tüstüsü misalında çox inandırıcı nəticələr əldə etmək mümkün olmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, uran filizi çıxaran şaxtaçılar arasında siqaret çəkənlər, çəkməyənlərlə müqayisədə, daha çox xərçəngə yoluxa bilirlər (HKДAP OOH, 1982).

Şəkil 8.5 - də tənəffüs orqanlarının xərçəngindən ölüm hallarının radonun parçalanma məhsullarının yaratdığı dozadan asılılıq ayrılıqları göstərilmişdir. Tədqiqatlar uran mədəsində işləyən 3 qrup şaxtaçılar üzərində aparılmışdır. Burada **A** əyrisi gündə 20 - dən çox siqaret çəkənlərə, **B** əyrisi gündə 20 - dən az siqaret çəkənlərə, **V** əyrisi isə siqaret çəkməyənlərə aiddir.

Çoxdandır ki, elmi ictimaiyyətdə şüalanmanın qocalma prosesini



Şəkil 8.5. Tənəffüs orqanlarının xərçənglə xəstələnmə tezliyinin dozadan asılılığı.

sürətləndirməklə, ömrü qısalda bilməsinə dair fikir formalaşmışdır. ARTEK son vaxtlar bu sahəyə aid nəticələri də ciddi şəkildə nəzərdən keçirmiş və bu hipotezin doğruluğunu sübut edə bilən tutarlı faktlar aşkar edə bilməmişdir. Hesab olunur ki, şüalanmaya məruz qalmış insanların ömrünün həqiqətən də qısa olmasına səbəb bütün hallarda şüalanmanın yaratdığı xərçəng olur (*HKДAP OOH, 1982*).

8.5. Şüalanmanın genetik nəticələri

İndi də radiasiyanın genetik effektləri üzərində dayanmaq. Qeyd etmək ki, radiasiyanın insan orqanizminə genetik təsirinə öyrənilməsi iki əsas səbəbə görə böyük çətinliklərə malikdir. Bu, bir tərəfdən, onunla əlaqədardır ki, bu problemin həlli uzun müddətli müşahidələr tələb edir. Belə ki, insanlarda nəsil dəyişməsi 25 - 30 il - dən sonra baş verir və genetik dəyişmələrin nəticələri 4 - 5 nəsildən sonra özünü biruzə verə bilər. İkincisi, yeni doğulan uşaqlarda həm irsi keçən, həm də yeni əmələ gələn defektlər yüksək dəyişkənliyə malik olurlar ki, bu da, radiasiyanın təsiri ilə əmələ gələn defektləri digər defektlərdən ayırmağa imkan vermir.

Genetik pozulmaları əsasən iki növə ayırırlar. Bunlardan biri xromosomların sayında və quruluşunda baş verən dəyişmələri özündə birləşdirən *xromosom*

dəyişmələri - *xromosom aberrasiyaları*, digəri isə genlərin özündə baş verən dəyişmələr - *mutasiyalardır*. İrsiyyət daşıyıcıları olan genlərin özündə baş verən mutasiyalar *gen mutasiyaları* adlanır.

Dediklərimizdən aydın olur ki, xromosom aberrasiyalarının kəmiyyət və keyfiyyət (miqdar və struktur) dəyişmələri ilə müşayiət olunan növləri vardır. Miqdarı aberrasiyalar radiasiyanın təsiri ilə xromosomların normal sayının dəyişməsi nəticəsində baş verir. Struktur aberrasiyaları isə radiasiyanın təsiri ilə xromosomların özlərinin strukturunun dəyişməsi hesabına baş verən aberrasiyadır.

Xromosom aberrasiyalarına daha çox peşə fəaliyyəti ilə əlaqədar şüalanma hallarında və insanların yüksək təbii radiasiya fonu şəraitində yaşamaları, fəaliyyət göstərmələri hallarında rast gəlinir. Birinci halda bu qəbildən olan insanlara atom sənayesi obyektlərində çalışanları, ikinci halda isə yüksək dağlıq ərazilərdə və uran yataqlarının yaxınlığında məskunlaşmış əhalini, təyyarə ekipajını və s. göstərmək olar. Xromosom aberrasiyaları, həmçinin də atom sənayesi obyektlərində baş vermiş qəzaların yaratdığı çirklənmiş ərazilərdə (məsələn, Çernobil AES - də baş verən qəzanın yaratdığı ərazilər kimi) yaşayan insanlar üçün də xarakterikdir.

Gen mutasiyaları da, öz növbəsində, dominant və resessiv mutasiyalara bölünürlər. Yaxın nəsildə özünü göstərən gen mutasiyaları dominant, sonrakı nəsillərdə özünü göstərən gen mutasiyaları isə resessiv mutasiyalar adlanır. Sonuncu mutasiya fərdin ata və anadan eyni cür mutasiyaya uğramış genləri alan hallarda baş verir ki, bu da, ən böyük ehtimalla, qohum valideynlər misalında baş verir. Bu hallarda resessiv mutasiyalar heç nədə özünü göstərmədən nəsildən-nəsilə verilə bilər və bu halda mutasiya olunmuş genlər həmin populyasiyada eyni mutasiya genlərini daşıyanlar nəsil verənə qədər saxlanıla bilər.

Həm xromosom, həm də gen mutasiyaların sonrakı nəsillərdə irsi xəstəliyə gətirib çıxara bilməsinin ehtimalı, adətən, böyük olur.

Maraqlıdır ki, hər iki mutasiya sonrakı nəsillərdə özünü biruzə verməyə də bilər. Məsələn, yapon alimlərinin aldığı nəticələrə əsasən Xerosima və Naqasaki şəhərlərinin bombalanması nəticəsində yüksək şüalanma dozası qəbul etmiş *20 min* valideynin uşaqlarında yalnız iki ən ehtimallı mutasiya aşkar edilmişdir. Valideynləri nisbətən kiçik şüalanma dozası qəbul etmiş təxminən eyni sayda uşaqların isə heç birində bu hallar müşahidə olunmamışdır (*Радиация. Дозы, эффекты, риск, 1990*).

Qeyd edək ki, radiasiyanın təsiri ilə, ilk növbədə, toxumluq və yumurtalığın rüşeym hüceyrələrində genetik materialın zədələnməsi ilə müşayiət olunan mutasiya baş verir. Müəyyən edilmişdir ki, qadın cinsi hüceyrələri ilə müqayisədə kişi cinsi hüceyrələri mutasiyaya daha çox həssas olurlar.

Maraqlıdır ki, əgər mutasiya rüşeym hüceyrələrində (spermatozoiddə və ya yumurta hüceyrələrində) baş verərsə, radiasiyanın təsiri təkcə həmin hüceyrələrdən inkişaf etmiş orqanizm üçün deyil, həm də həmin orqanizmin gələcək nəsilləri üçün də əhəmiyyətli rola malik olacaq.

Rüşeym hüceyrələrinin kişi və qadın cinsiyyət orqanlarının qonadlarında əmələ gəlməsi məlumdur. Kişi cinsiyyət vəzilərində (xayada) spermatozoidlər yaranır

və onların yumurtalıqda inkişaf edən yumurta hüceyrələrinə qovuşması özündə irsiyyət zəncirini daşıyan kiçik orqanizm yaradır. Hər bir spermatozoid kimi, hər bir yumurta hüceyrəsi də 23 tək xromosom (haploid) dəstinə malik olur. Bu iki hüceyrə qovuşarkən ata rüşeym hüceyrələrinin 23 tək xromosomu ana rüşeym hüceyrələrinin 23 tək xromosomu ilə cüt - cüt birləşməklə 23 xromosom cütünə (diploid) malik yeni insan orqanizminin ilk hüceyrəsini yaradırlar (Холл Э.Дж., 1989).

Məlum olduğu kimi, xromosomlar kodlaşdırılmış formada insanı digər canlı orqanizmlərdən fərqləndirən əlamətlər daşıyıcılarıdır. Bundan əlavə, xromosomlar verilmiş növə (cinsə) aid olan bütün xüsusiyyətlərin sonrakı nəsillərdə təkrar olunması üçün informasiya daşıyıcılarıdır.

Xromosomlar - hüceyrənin uzun ipəbənzər strukturu olaraq, nəhəng *dezoksiribonuklein turşusu* (DNT) adlanan mürəkkəb maddədən təşkil olunmuşlar. DNT - nin əsasını karbohidratlar və fosfat turşusunun qalıqları (fosfat qrupları) təşkil edir ki, bunlar da genetik (irsi) kodu daşıyan xüsusi molekulların müəyyən olunmuş yerdə tutulub saxlanması üçün skelet rolunu oynayır. Bu zaman hər bir karbohidrata azot əsaslı bir timin, adenin, qüanin və sitozin birləşir. Bütövlükdə isə DNT ikiqat spiral formasında kompakt konfigurasiyaya malikdir. Azotlu əsasların DNT - də ardıcılığı kod formasında genetik informasiya əmələ gətirir. Bu dörd azotlu əsasın müxtəlif kombinasiyası və DNT - də növbələşmə qaydası bioloji maddələri əmələ gətirən mürəkkəb bioloji molekulların sintez olunma kodunu müəyyən edir. Bu kodda bioloji varlıqların nəsildən-nəsilə ötürülən bütün spesifik əlamətləri toplanır. Məhz buna görə də, oğul, məsələn, atanın uzun qartal burnuna oxşar buruna, anasındakı kimi girdə sifətə malik ola bilir. O, həmçinin də, irsi olaraq, babasının musiqi qabiliyyətini və yaxud da nənəsinin kürən saçlarını qəbul edə bilər.

Kod formasında orqanizmin spesifik xüsusiyyətlərini daşıyan xromosomun bir hissəsi genom adlanır. Bəzən genetik kodun hissələri bir-biri ilə yerlərini dəyişə bilərlər və bununla da azotlu əsasların növbələşmə qaydası pozulur. Bu hadisə mutasiya adlanır. Mutasiya halında xromosomda defekt yaranır ki, bu da, bölünmə nəticəsində yaranan "qız" hüceyrələrə verilir. Əgər zədələnmiş gen (və ya xromosom) spermatozoiddə və ya yumurta hüceyrəsində yaranarsa, onda əmələ gələn rüşeymin bütün hüceyrələrində bu zədələnmə təkrarlanacaqdır. Embriyon sağ qalan halda isə genetik defekt həm də sonradan gələn nəsillərə ötürüləcəkdir. Qeyd edək ki, xromosom və genlərində mümkün pozulmalar olan istənilən hüceyrə mutant hüceyrə adlanır. Somatik hüceyrədə baş verən mutasiya şüalanmaya məruz qalmış şəxsin bütün həyatı boyu yalnız onun özünə təsir edir. Cinsi hüceyrələrdə baş verən mutasiya isə (bu mutasiya, artıq qeyd etdiyimiz kimi, genetik mutasiya adlanır) sonrakı nəsillərə də verilə bilər. Radiasiya cinsi hüceyrələrin DNT molekullarında kəsiklər əmələ gətirir və bununla da təbii inkişaf prosesində baş verən mutasiyalarla müqayisədə daha çox mutasiyalar yaradır. Maraqlıdır ki, ionlaşdırıcı şüalanmanın əmələ gətirdiyi mutasiyalar təbii mutasiyalardan heç bir əlamətlərinə görə fərqlənmir. Başqa sözlə desək, radiasiya qeyri-adi, nadir və ya hansısa yeni mutasiya yaratmır, o yalnız yeni mutant hüceyrələrin yaranma ehtimalını artırır.

Qeyd edək ki, sadaladığımız hallarda hesab edirdik ki, insan orqanizmi müxtəlif radionuklidlərin yaratdığı şüalanmayanın təsirinə xaricdən məruz qalırdı, yəni dediklərimiz xarici şüalanmaya aid idi. İndi də daxili şüalanma üzərində dayanaq. Radionuklidlərin qəbul olunan qida, nəfəsalma yolları və yaxud da dəri vasitəsi ilə orqanizmə daxil olması müxtəlif orqan və toxumaların daxili şüalanmaya məruz qalmasına səbəb olur. Daxili şüalanma zamanı daha çox təhlükə yarada biləcək izotopların plutonium və polonium olması müəyyən edilmişdir. Həmçinin də müəyyən edilmişdir ki, radioizotoplar, selektiv olaraq, müəyyən orqan və toxumalarda toplanırlar. Məsələn, sümüklərdə kalsium, radium, stronsium daha çox miqdarda toplanırlar. Qalxanvari vəzidə isə onun zədələnməsinə səbəb olan radioaktiv yod toplanır. Radionuklidlərin ayrı-ayrı orqanlarda toplanması bütün hallarda bəd xassəli işlərin yaranması ilə nəticələnir.

Seziyum və ribidium radionuklidlərinə orqanizmdə təxminən bərabər paylanmaq xüsusiyyəti xarakterikdir. Bu radionuklidlər qanəmələgəlmə prosesini ləngidir, yumurtalıq və toxumluqların (xayanın) funksiyasının itməsi ilə nəticələnən cinsi orqanların atrofiyasına səbəb ola bilər və yumşaq toxumalarda işlər yaradır.

Canlı orqanizmdə baş verə biləcək təsirlərin şüalanma dozəsindən asılılığı cədvəl 8.2 - də öz əksini tapmışdır. Cədvəl çoxlu sayda tədqiqat işlərinin (Гуськова А.К., Байсоголов Г.Д., 1971; Иванов В.И., 1978; Радиация. Дозы, эффекты, риск., 1990; Артамонова В.Г., Шаталов Н.Н., 1988; Шафиркин А.В., 1999; Ушаков И.Б., Карпов В.Н., 1997; Москалев Ю.И., 1991; Миловидова И.А., 1983; Экология, охр. природы и эколог. безопасн., 1997; Гуськова А.К., Садчикова Э.Н., 1975, 1977) nəticələrinin ümumiləşməsi əsasında tərtib olunmuşdur.

Cədvəldən görüldüyü kimi, radiasiya təhlükəsizliyi baxımından doza sərhəddini 0.5 Qr müəyyən edir. Bu rəqəm isə, məlum olduğu kimi, rentgen və qamma şüalanma üçün 0.5 Zv effektiv dozaya uyğun gəlir. Qeyd edək ki, 0.5 Qr - ə qədər olan intervalda radiasiya riski əhəmiyyətli dərəcədə bəd xassəli işlərin əmələ gəlmə riski ilə bağlı olur. Digər şüalanmalar kimi terapevtik məqsədlər üçün istifadə olunan şüalanma dozası da gələcəkdə xərçəng xəstəliyinin yaranmasına və yaxud da xoşagəlməz genetik nəticələrə gətirib çıxara bilər. Aydınır ki, terapevtik dozalarda şüalanmalardan adətən ölümcül xəsrələrdə xərçəngi müalicə etmək məqsədi ilə istifadə edilir.

Radioaktiv şüalanmanın insan orqanizminə təsirinə dair məlumatları ümumiləşdirərək aşağıdakı fikirləri söyləmək olar. Radiasiya öz təbiətinə görə həyat üçün təhlükəlidir. Kiçik dozalarda şüalanma genetik zədələnməyə və xərçəngə gətirib çıxara bilən və hələ də sona qədər öyrənilməyən hadisələr zəncirini işə sala bilər. Bu zaman ionlaşdırıcı şüalanmanın orqanizmin toxumalarına təsiri aşağıda adları çəkilən hadisələrin baş verməsinə səbəb olur. Belə ki, orqanizmin toxumalarına daxil olan *alfa* və *beta* kimi yüklü zərrəciklər yaxınlığından keçdikləri atomların elektronları ilə elektrik qarşılıqlı təsir nəticəsində enerjilərini itirirlər. Qamma və rentgen şüaları isə öz enerjilərini daxil olduğu maddəyə bir neçə üsulla verə bilərlər ki, bu hallar yenə də son

nəticə elektrik qarşılıqlı təsirinə gətirib çıxarır. Elektrik qarşılıqlı təsiri atomun
Cədvəl 8.2.

Şüalanmanın yaratdığı fəsadlarının dozadan asılılığı

Interval, Q_r	Şüalanmanın fəsadları
$0 - 0.005$	Somatik zədələnmələr baş vermir. Şüalanma nəticəsində əmələ gələn stoxastik və genetik effektlərin tezliyi təbii mənşəli bu effektlərin tezliyi ilə müqayisədə kifayət qədər az olur.
$0.005 - 0.05$	Somatik effektlərin klinik əlamətləri mövcud olmur. Şüalanma nəticəsində əmələ gələn stoxastik və genetik effektlərin tezliyi təbii mənşəli bu effektlərin tezliyi ilə müqayisədə az olur.
$0.05 - 0.5$	Somatik effektlərin zəif klinik əlamətləri müşahidə olunur. Şüalanma nəticəsində əmələ gələn stoxastik və genetik effektlərin tezliyi təbii mənşəli bu effektlərin tezliyi ilə təxminən eyni olur.
$0.5 - 1.5$	Əmək qabiliyyətinin itməsində, prodromal reaksiyalarda özünü göstərən somatik effektlər müşahidə olunur. Bu zaman şüa xəstəliyinin yaranma ehtimalı böyük olur. Şüalanma nəticəsində əmələ gələn stoxastik və genetik effektlərin tezliyi təbii mənşəli bu effektlərin tezliyi ilə müqayisədə əhəmiyyətli dərəcədə böyük olur.
$1.5 - 3.0$	Əmək qabiliyyətinin itməsində, intensiv prodromal reaksiyalarda, orta və ağır dərəcəli şüa xəstəliyinin yaranmasında özünü göstərən somatik effektlər müşahidə olunur. Bu intervalın sonuna yaxın letal sonluq riski daha yüksək olur.

elektronun qopması və elektron, müsbət ion cütünün yaranması ilə nəticələnir. Bu proses çox qısa müddət ərzində (saniyənin trilyonda bir hissəsi ərzində) baş verir. Qopmuş elektronlar digər atomları da ionlaşdırırlar. Həm sərbəst elektronlar, həm də ionlaşmış atomlar bu vəziyyətdə çox qala bilmirlər və saniyənin milyardda bir hissəsi ərzində çox mürəkkəb reaksiya zəncirinə daxil olmaqla, hüceyrələrdə müxtəlif fiziki-kimyəvi dəyişmələr yaradırlar. Nəticədə "sərbəst radikallar" adlanan və ifrat yüksək dərəcədə reaksiyaya girmək qabiliyyətinə malik molekullar da daxil olmaqla, yeni molekullar yaranır. Yaranmış sərbəst radikallar saniyənin növbəti milyonda bir hissəsində həm bir-biri ilə, həm də digər molekullarla reaksiyaya girərək, hələ də sona qədər öyrənilməmiş yeni reaksiya zənciri üzrə hüceyrələrin normal fəaliyyəti üçün lazım olan vacib bioloji molekulların kimyəvi modifikasiyasını yarada bilirlər. Molekulların biokimyəvi dəyişmələri isə bir neçə saniyə ərzində də baş verə bilər, şüalanmadan sonrakı onilliklərdə də özünü göstərə bilər. Buna görə də son nəticəyə tez bir zamanda hüceyrənin məhv olmasına və yaxud da onda xərçəngə gətirib çıxara bilən dəyişmələrin baş verməsinə səbəb olur.

Böyük dozalarda isə radiasiya hüceyrəni dağıdır, toxuma və ayrı-ayrı orqanları zədələyir və bunun da nəticəsində orqanizm məhv olur.

Şüalanmanın böyük dozalarda yaratdığı zədələnmələr adətən bir neçə saat və

ya bir neçə gündən sonra özünü büruzə verə bilir. Xərçəng xəstəlikləri isə şüalanmadan bir neçə on il keçdikdən sonra aşkar olunur.

Qeyd edək ki, genetik aparatın zədələnməsinin törətdiyi müxtəlif inkişaf qüsurları yalnız sonrakı nəsillərdə özünü göstərə bilər.

Böyük dozalı radiasiya şüalanmasının tez yarana bilən fəsadlarını müəyyənləşdirmək elə böyük zəhmət tələb etmir, lakin kiçik dozalı radiasiyanın törədə biləcəyi halları müəyyən etmək həmişə çətin olur. Bunun səbəblərindən birinin radiasiyanın yaratdığı təsirin təzahür etməsi üçün böyük zamanın tələb olunmasıdır. Müşahidə olunan hansısa aşkar effekt halında isə onun məhz radiasiyanın hesabına baş verməsini sübut etmək çətin olur. Belə ki, genetik aparatın zədələnməsinə və yaxud da xərçəng xəstəliyinin yaranmasına səbəb təkcə radiasiya deyil, çoxlu sayda hansısa digər amillər də ola bilər.

Orqanizmin kəskin zədələnməsinin baş verməsi üçün şüalanma dozası müəyyən bir həddən çox olmalıdır, lakin bu prinsipin genetik aparatın zədələnməsinə və yaxud da xərçəngin yaranmasına aid edilməsinə heç bir əsas yoxdur. Nəzəri cəhətdən adı çəkilən xəstəliklərin yaranması üçün çox kiçik doza da kifayət edir. Əlavə olaraq, heç bir doza şüalanması bütün hallarda adı çəkilən nəticələrə gətirib çıxarmır və nisbətən yüksək şüalanma dozalarında heç də hamı bu xəstəliklərə tutulmur.

Məlum olduğu kimi, orqanizmin malik olduğu reperasiya sistemi baş verə biləcək zədələnmələri ləğv etmək funksiyasına malikdir. Buna görə də radiasiyanın təsirinə məruz qalan insanlar mütləq xərçəng xəstəliyinə tutulmalı və yaxud da irsi xəstəliklərin daşıyıcısı olmalı deyillər. Sadəcə olaraq, radiasiyanın təsirinə məruz qalan insanlarda belə təsirə məruz qalmayanlarla müqayisədə genetik aparatın zədələnmə ehtimalı (riski) daha yüksək olur.

8.6. Radonun və onun parçalanma məhsullarının bioloji təsiri.

Radonu yaradan "ana" radionuklidlə – $U-238$ və $Th-232$ haqqında artıq söhbət etmişik. Radonun bizi hər yerdə və həmişə müşayiət etməsinə səbəb $U-238$ və $Th-232$ izotoplarının yarımparçalanma periodlarının çox böyük (uran və torium üçün, uyğun olaraq, $4.5 \cdot 10^9$ il və $14 \cdot 10^9$ il) olmasıdır.

Müəyyən edilmişdir ki, radonun özünün də havada parçalanması polonium, qurğuşun və bismut kimi kiçik yaşama müddətli radioaktiv izotopların ("qız" məhsulların) yaranmasına səbəb olur. Parçalanma məhsulları isə, adətən, mikroskopik tozcuqlara – aerosollara yapışmaqla, atmosfer, Yerin səthinə çökməklə isə, bütövlükdə flora və fauna üçün çirklənmə mənbəyi rolunu oynayır.

Qeyd edək ki, səthinin sahəsi təxminən kvadrat metrin onda birinə bərabər olan ağ ciyər, süzgəc rolunu oynamaqla, havadan nəfəs yollarına daxil olan radioaktiv aerosolları üzərinə çökdürür. Bu zaman poloniumun kütlə ədədləri 218 və 214 olan iki radioaktiv izotopunun yaratdığı α -zərrəciklər ağ ciyərin səthinə "güllələyir" və bununla da radonla bağlı şüalanmanın ~ 97 % - dən çoxuna sahib çıxır.

Digər parçalanma məhsulu olan qurğuşun - 210 izotopu yarımparçalanma periodunun böyük (22 il) olması hesabına parçalanmaya uğramamışdan əvvəl

ciyərdən xaric olur. Buna baxmayaraq, radonun parçalanmasının “qız” məhsullarının ağ ciyər üçün yaratdığı şüalanma onun özünün yaratdığı şüalanma ilə müqayisədə dəfələrlə çox olur.

Radioaktiv radon qazı, ilk növbədə, insanın yuxarı nəfəs yollarına təsir etdiyindən onun parçalanması zamanı yaranan α - zərrəciklər bronxların epiteli toxumalarını şüalandırır, nəticədə toxumaların örtük təbəqəsini təşkil edən atomların (epiteli hüceyrələrinin) ionlaşması və həyəcanlanması baş verir.

Radonun özünə gəldikdə isə, onun öldürücü təsirinin qurbanları hələ XX əsrin ortalarında bəlli idi. Məsələn, Almaniyanın cənubunda dağ mədənlərində işləyən fəhlələr o zaman “*tez inkişaf edən vərəm*” adlanan müəmmalı xəstəlikdən ölürdülər. Düzdür, o zaman rəngə, dada, iyə malik olmayan, yəni hansısa bir əlamətinə görə özünü bürüzə verməyən bu qaz haqqında elə bir məlumat olmadığından faciənin səbəbini onunla bağlaya bilməzdilər. Bu xəstəliyi ilk öyrənən tədqiqatçı isə sonradan dağ elminin əsasını qoyan məşhur Georqiy Aqrikola olmuşdur. Tədqiqatçının fikrincə, mədən fəhlələrinin ölümünə səbəb onların “*dağ ruhlarını*” narahat etmələri olmuşdur.

Qeyd edək ki, həmin mədənlər sonradan uran və radium çıxarılan ilk avropa mədənləri olmuşdur. Yuxarıda adı çəkilən müəmmalı xəstəliyin əsaslı öyrənilməsi ilə isə 1937 - ci ildə Lyüdiviq Teleki məşğul olmuşdur. O, müəyyənləşdirmişdir ki, müəmmalı dağ xəstəliyi ağ ciyər xərçənginin bir növü olan bronxial karsinomadır. Aydın olmuşdur ki, bu mədənlərin havasında radonun konsentrasiyası 40000 Bk/m^3 - a bərabərdir. Radioaktiv parçalanma məhsullarını da nəzərə alsaq, bu, hər saniyədə hər kub metrə 200000 parçalanma deməkdir. Bu səbəbdən də Cənubi Almaniya mədənlərində işləyən fəhlələrin $\sim 50\%$ - i bu şüalanmanın qurbanı olmuşdur.

Sonuncu onilliklərdə müəyyən edilmişdir ki, Yerüstü atmosferdə radonun miqdarı ayda bir neçə dəfə arta bilər. Bu formada radon axını elektrik (daha dəqiq desək, aeroion) fırtınası ilə müşayiət olunur ki, nəticədə havada ionların konsentrasiyası kəskin artır. Bu səbəbdən də, əhəlinin $\sim 30\%$ - ində ürək döyüntüsü, miqren, yuxusuzluq və s. kimi xoşagəlməz hallar müşahidə olunur.

Görəsən, ağ ciyər xərçənginin inkişafını sürətləndirən və orqanizmə təsir edərək hətta sağlam adamlarda belə funksional dəyişikliklər yarada bilən, xəstə və tam formalaşmamış orqanizmlər üçün isə ciddi təhlükə olan bu radon - aeroion fırtınasının səbəbi nədir? Aydın olmuşdur ki, bu formada radon problemi Günəşdə baş verən kompleks fiziki proseslərlə əlaqədardır.

Qeyd edək ki, Günəşin aktivliyinin Yer təbiətinə və həmçinin də sosial proseslərə təsiri problemi vacibliyi ilə hələ elmi ictimaiyyətə məlum deyil. Hətta bəzi tanınmış alimlər (bu sahədə mütəxəssis olmayanlar) Günəşdə yaranan qara ləkələrin Yerdəki proseslərə təsirinə dair sualın qoyulmasının özünü düzgün hesab etmirlər. Məlumdur ki, ölçüləri bizim planetin ölçülərindən dəfələrlə böyük olan qara ləkələr Günəşin (ulduzların) dərinliklərində baş verən güclü fiziki proseslərin təzahür formalarıdır.

Qara ləkələrlədən başqa, möhtəşəm partlayışlar – Günəş xromosfer parıltısı da baş verir ki, bu halda da 10^{24} - 10^{25} C həddində enerji ayrılır, planetlərarası fəzaya

zərrəciklər seli, "sərt" rentgen şüalanması, maqnitlənmiş qaynar plazma səpələnir. Günəş aktivliyinə uyğun şüalanma atmosferin yuxarı qatlarında ionlaşma və molekulyar dəyişikliklər əmələ gətirməklə, geomaqnit fırtına yaradır. Geomaqnit fırtınaların hər 27 gün - dən bir təkrarlanması müəyyən edilmişdir. Bu formada təkrarlanmanı Yerdəki müşahidəçiyə nəzərən Günəşin öz oxu ətrafında fırlanma periodunun 27 gün olması ilə əlaqələndirirlər. Belə çıxır ki, yerüstü atmosferdə radonun konsentrasiyasının dəyişməsi də həmin periodikliyə malik olmalıdır.

Artıq qeyd etdiyimiz kimi, geomaqnit fırtına zamanı havada radonun konsentrasiyasının artması kifayət qədər böyük (5-10 dəfə) olur. Aydındır ki, insan orqanizmi havada radioaktiv radon qazının belə yüksək miqyasda dəyişməsinə biganə qala bilməz. Radon bizim ciyərlərimizə dolmalı, qanaxını vasitəsi ilə bədənimizin hər yerinə daşınmalı və son nəticədə həyat əhəmiyyətli bəzi orqanlarda toplanmalıdır.

Görəsən, radon hansı orqanlarda toplanır? 70 - ci illərin əvvəllərində tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, radon, əsasən, hipofiz və böyrəküstü vəzilərdə toplanır. Hipofiz hormonları, məlum olduğu kimi, ürəyin, əsəb sisteminin, mədə və qara ciyərin funksiyalarını tənzimləyir və maddələr mübadiləsini nəzarətdə saxlayır. Böyrəküstü vəzi isə, adrenalin və noradrenalin kimi hormonlar sintez etmək funksiyasını yerinə yetirməklə, qismən də olsa, orqanizmin dəyişən şəraitə adaptasiya qabiliyyətini idarə edir və onun xoşagəlməz təsirlərə davamlılığını təmin edir.

Qeyd edək ki, siqaret çəkənlər arasında ağ ciyər xərçənginə düçar olanların sayının çox olmasını uzun müddət tütündə müxtəlif kanserogen maddələrin olması ilə əlaqələndirirdilər. Radonun bu və ya digər dərəcədə tütünün bütün sortlarında olması faktının aşkar edilməsi bu fikirlərə aydınlıq gətirmək zərurəti yaratdı. London Koroleva İnstitutunun əməkdaşlarının tədqiqatlarından aydın oldu ki, ağ ciyər xərçəngindən ölənlərin hər 20 nəfərindən biri radonun payına düşür. Məşhur Hippokrat hələ bizim eradan 4-5 əsr əvvəl söyləmişdir ki, yüksək dozalarda (yüksək miqdarda) zərərli olan şey kiçik dozalarda əhəmiyyətli olur. Yada salaq ki, yaxın vaxtlara qədər 10 min - lərlə adam Qafqazda Sxaltubada və ya Altayda Belokurixdə radon vannaları qəbul etdiyi halda, indi hər bir şəhər poliklinikaları belə vanna otaqlarına malikdir.

Yaddan çıxarmaq olmaz ki, bizim ulu əcdadlarımız müasir insanların yaşadığı, yaxşı ventilyasiya olunan binalarla müqayisədə, əsasən radonun hesabına təbii radiasiya fonu dəfələrlə yüksək olan mağaralarda yaşamışlar. Elmi ictimaiyyətdə təbii radiasiya fonunun biosfer üçün hətta həyat əhəmiyyətli faktor olması fikri də formalaşmışdır. Qeyd edək ki, bu gün Yer kürəsinin hər bir sakini radon və onun parçalanma məhsullarının hesabına orta hesabla ildə $100 \text{ mber} = 1 \text{ mZv}$ şüalanma dozası qəbul edir.

8.7. Radiasiyanın bioloji təsir mexanizmi haqqında

İonlaşdırıcı şüalanmanın bioloji təsirinin çoxşaxəli və bu şüalanma növünün hüceyrəyə təsirinə dair elmi tədqiqat işlərinin kifayət qədər olmasına baxmayaraq, digər fiziki təsir amilləri ilə müqayisədə radiasiyanın yüksək toksiki təsirini aydınlaşdırmağa imkan verə bilən mexanizm hələ də məlum deyil (*Маргулис М.А.*,

Маргулис И.М., 2005; Эйдус Л.Х., 2000). Hal – hazırda ionlaşdırıcı şüalanmanın bioloji obyektlərə təsir mexanizmi ya hüceyrədə baş verən kimyəvi çevrilmələrlə (dolayı təsir mexanizmi), ya da birbaşa DNT molekuluna təsirlə (hədəf nəzəriyyəsi) əlaqələndirilir (Долгова Т.А. и др., 2003; Самошкин Е.Н., Мурахтанов Е.С., 1997; Цыцугина В.Г. и др., 2005).

Yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi, dolayı təsir mexanizminin əsasında ionlaşdırıcı şüalanmanın su ilə qarşılıqlı təsiri və bu təsir nəticəsində əmələ gələn müxtəlif ionların və H , OH kimi radikalların törətdiyi reaksiyalar durur. Birbaşa təsir mexanizmini isə ionlaşdırıcı şüalanmanın hüceyrə daxilində nişangah rolunu oynayan DNT, RNT kimi molekullarla bilavasitə qarşılıqlı təsiri ilə bağlayırlar (Цыцугина В.Г. и др., 2005). Qeyd edək ki, nişangah rolunu bu prosesdə limfosit hüceyrələrinin lipoproteinləri də oynaya bilər (Самошкин Е.Н., Мурахтанов Е.С., 1997).

Dolayı təsir mexanizminin digər bir variantı Burlakova və başq. (Бурлакова Е.Б. и др., 1975) tərəfindən təklif edilmişdir. Onların fikrincə, şüalanma zamanı yaranan radikallar hüceyrə membranlarına çataraq, lipidlərlə qarşılıqlı təsirdə ola bilərlər və nəticədə radikal – zəncirvari mexanizm üzrə oksidləşmə baş verir.

Təklif olunan bu formada təsir mexanizmi V.P.Skulaçov (Скулачов В.П., 1989) tərəfindən də əsas təsir mexanizmi kimi qəbul edilmişdir. Belə ki, ionlaşdırıcı şüalanmanın yaratdığı lipidlərin peroksid oksidləşməsinə dair zəncirvari reaksiyanı və bu təsir nəticəsində bioloji membranlarda baş verən dağıntıları öyrənən bu tədqiqatçı şüalanma zamanı hüceyrənin zədələnməsinin və onların məhvinin səbəbini oksigenin aktiv formasının təsirində görür. Bu halda son nəticədə əsas zədələyici faktor kimi OH radikalları qəbul olunur. DNT, RNT, fermentlər və s. kimi vacib bioloji makromolekullar isə yaranmış radikallarla çox effektiv şəkildə qarşılıqlı təsirdə olurlar. İonlaşdırıcı şüalanma zərrəciklərinin birbaşa DNT molekulunun üzərinə düşmə ehtimalı çox kiçik olduğundan, müəlliflər dolayı təsir mexanizminin üstünlük təşkil etdiyini qeyd edirlər.

Radioaktiv şüalanmanın digər təsir mexanizminin müəllifləri (Маргулис М.А., Маргулис И.М., 2005; Позолотина В.Н., 2003; Шевченко В.А. и др., 1999) hesab edirlər ki, ionlaşdırıcı şüalanma zərrəcikləri, bilavasitə hüceyrə örtüyünün və bioloji membranların üzərinə düşməklə, onları zədələyir və bəzən də onların üzərində “deşiklər” açır ki, bu da, hüceyrənin yenidən bərpasına imkan vermir. Başqa sözlə desək, müəlliflər ionlaşdırıcı şüalanmanın toksiki təsir mexanizmini hüceyrənin mexaniki bütövlüyünün pozulması ilə əlaqələndirirlər.

Qeyd edək ki, elektrik keçiriciliyinin dəyişməsinə gətirib çıxara bilən bu cür membran zədələnmələri bir qrup digər müəlliflərin işlərində də öz təcrübə sübutunu tapmışdır (Бурлакова Е.Б., 2003; Тордія Н.В., и др., 1999; Черненко Л.П., 2000; Kovacs E., Keresztes A., 2002). Aydınır ki, hüceyrənin normal fəaliyyətini onun sərbəstliyi və ətraf mühitlə fasiləsiz əlaqəsinin olması təmin edir. Bunlar isə, zədələnməmiş membran halında mümkündür.

Məlum olduğu kimi, su mühitində bioloji membranlar qalınlığı $\sim 5 - 10 \text{ nm}$ olan ikiqat lipid təbəqəsi formasında olur. Membranın daxili və xarici səthləri arasında potensial fərqi $U_m = 100 - 200 \text{ mV}$ həddində olur ki, bu da, membran daxilində

intensivliyi $\sim 10^7$ V/m olan elektrik sahəsi yaradır (Антонов В.Ф., 1998). Əgər kənardan 10-30 mV potensiallar fərqi tətbiq olunarsa, onda son nəticədə membranın dağılmasına səbəb olan elektrik deşilməsi baş verir. Hesab olunur ki, əgər elektrik deşilmələrinin heç olmasa birinin ölçüsü kritik 9 nm həddini aşarsa, onda membran mütləq dağılır (Антонов В.Ф., 1998). Bu nəticələri almış müəlliflərin fikrincə, hüceyrənin məhvinə gətirib çıxara bilən güclü qızma, soyuma, lipidlərin peroksidləşməsi, mexaniki dartılma və s. kimi əksər patoloji təsirlər məhz hüceyrə membranlarının mexaniki bütövlüyünün pozulması ilə əlaqədardır.

Membranın ionlaşdırıcı şüalanmanın təsiri ilə zədələnməsi prosesini təklif olunan bu modelin əsasında aşağıdakı kimi izah etmək olar. Böyük enerjiliyə malik ağır ionlaşdırıcı şüalanma zərrəcikləri membranda deşik əmələ gətirə bilməklə yanaşı, həm də sitoplazmada "kanal" açır. Belə ki, bu zərrəciklər membrandan keçən zaman lipidlərin ionlaşması baş verir, nəticədə elektrik müqaviməti azalır və elektrik deşilməsi baş verir.

Məlum olduğu kimi, hüceyrə mürəkkəb bioloji sistemdir. Bu sistemdə, fasiləsiz olaraq, Na, K, Ca, Mg və s. kimi ionların daşınması həyata keçirilir ki, nəticədə müəyyən səviyyədə saxlanılan elektrik potensialı yaranır. İonların nəqli prosesində hüceyrənin bütün elementləri bir-biri ilə sıx əlaqədə olmaqla, dəqiq, balanslaşmış şəkildə fəaliyyət göstərir. Elektron - mikroskopik tədqiqatlar göstərir ki, sitoplazmanın əsas maddəsini təşkil edən strukturlaşmış qialoplazma kanallar sistemi, qabarcıqlar, sistemlər və s. əmələ gətirən membranlarla zəngindir. Membranlar isə bir - biri ilə birləşərək, sitoplazmada ətraf mühitlə hüceyrənin daxilini birləşdirən kanallar əmələ gətirir ki, bu kanallar sistemi də maddələrin hüceyrədaxili daşınmasında mühüm rol oynayır. Bu zaman mühitdən hüceyrəyə maddələrin daşınmasını tənzimləyən səth membranları da mühüm rol malik olur.

Hüceyrə konfigurasiyasının təhlili göstərir ki, böyük enerjili zərrəciklərin plazmatik səth membranlarına düşmə ehtimalı ən böyük olur. Sonra isə azalma tendensiyası üzrə sitoplazma, endoplazmatik şəbəkə membranları, nüvə örtüyü, nüvə, mitoxondri və s. gəlir. Çox yəqin ki, hüceyrənin yaşama ehtimalı təkə ionlaşdırıcı zərrəciyin bu hüceyrə elementlərindən hansının üzərinə düşmə ehtimalından deyil, həm də onların hüceyrənin fəaliyyəti üçün əhəmiyyətli dərəcəsindən və həmin elementlərdə regenerativ mexanizmlərin mümkünlüyündən asılı olacaqdır. Aydın ki, ionlaşdırıcı zərrəciyin mühitdən keçməsi zamanı membranlarda əmələ gələn "deşiklərin" və yaxud da sitoplazmada, nüvədə və ya hüceyrənin hansısa bir elementində yaranan "kanalların" konfigurasiyası ionlaşdırıcı şüalanmanın növündən və mühitin zərrəcikləri tormozlama qabiliyyətindən asılı olacaqdır.

Hüceyrənin mexaniki bütövlüyünün pozulması əsasında təklif olunan bu mexanizm, prinsip etibarlı ilə, müəyyən şərtlər daxilində, az ehtimalla da olsa, radioaktiv şüalanmanın törədə biləcəyi kimyəvi reaksiyalarının da mümkünlüyünü inkar etmir. Qeyd edək ki, təkə səth membranlarının zədələnməsi ehtimalının deyil, həmçinin də ionlaşdırıcı zərrəciyin hüceyrəyə daxil olmaqla, müxtəlif membranları, o cümlədən də mitoxondriləri zədələməsi ehtimalı da kifayət qədər böyük olur. Bu isə

hüceyrənin nəfəsalma prosesinin pozulmasına, qlikolev mübadiləsinin rolunun kəskin artmasına və Varburq nəzəriyyəsinə (Зюсс Р. и др., 1977) uyğun olaraq, yeni hüceyrələrin əmələ gəlməsinə və onların qeyri-məhdud artmasına və son nəticədə xərçəng xəstəliklərinin yaranmasına səbəb ola bilər.

8.8. Radiobiologiyada kiçik dozalı radiasiya problemi.

Ətraf mühitin çirklənmə səviyyəsinin, əsasən də müxtəlif radionuklidlərlə lokal çirklənmiş zonaların sayının ilbəl artması təkamül prosesində canlıların tanımadığı yeni ətraf mühit faktorunun formalaşmasına səbəb olmuşdur. Bu baxımdan, ionlaşdırıcı şüalanmanın çox da böyük olmayan dozalarda canlılara təsirinin öyrənilməsi, daha dəqiq desək, canlıların bu təsir şəraitinə uyğunlaşması (radioadaptasiya), radiasiyanın xroniki təsirinə müqavimət göstərməsi (radiorezistentlik), radiasiyanın təsiri ilə canlı orqanizmdə baş verən bəzi biokimyəvi proseslərin sürətlənməsi (radiostimullaşma) kimi proseslərin öyrənilməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Əsasən bitki və heyvanlara həsr olunmuş tədqiqat işlərinin nəticələrindən aydın olur ki, ionlaşdırıcı şüalanmanın bioloji təsiri heç də sadə olmayıb, çoxşaxəlidir və kifayət qədər mürəkkəb xarakterli mexanizmlər üzrə həyata keçir. Böyük ehtimalla bu, radiasiyanın hüceyrəyə təsir mexanizmlərinin də çoxluğu ilə əlaqədardır. Məsələn, bir sıra işlərdə hüceyrə səviyyəsində kiçik dozalarda şüalanma zamanı müxtəlif bitkilərin radiasiyaya davamlılığının artması qeydə alınmışdır (Куликов Н.В. и др., 1991). Hesab edilir ki, ionlaşdırıcı şüalanmanın təsiri ilə bitkilərdə "adaptiv cavab" adlanan reaksiya formalaşır ki, nəticədə onlar bu təsərə özünəməxsus müqavimət göstərir (Серебряный А.М., Зоз Н.Н., 2001).

Kiçik dozalı radiasiyanın bitkilərə təsirinin aydın təzahür formalarından biri də onların *boyatma və inkişafının stimullaşmasıdır* (Вълкова Н., 2002; Данилин И.А. и др., 2004; Mukandama J.P., Gonzalez Maria C., 2002; Wang Rui-lan et al., 2004).

Qeyd edək ki, ionlaşdırıcı şüalanmanın kiçik dozalarda bitkilərə təsirinə dair məlumatların bəzi hallarda bir-biri ilə ziddiyyət təşkil etməsinə baxmayaraq, əksər tədqiqat işlərində kiçik dozalı radiasiyanın konkret şəraitlərdə bitkilərin boyatma və inkişafını stimullaşdırması göstərilir (Кузин А.М., 1995; Кузин А.М. и др., 1996). Həmçinin də göstərilir ki, bitkilərin toksiki və mutagen effektlər yaratmayan dozalarda şüalanmaya məruz qalması onların həm böyük dozalara, həm də kimyəvi birləşmələrin təsirinə davamlılığının artmasına səbəb olur. Hesab edilir ki, bitkilərin bu cür radiohəssaslığına səbəb də onlarda adaptiv cavabın formalaşmasıdır.

Bir qrup müəlliflər adaptiv cavabı radiasiyanın təsiri ilə "zədələnmiş" hüceyrələri bərpa edən DNT reparasiyasının indusibel sistemlərinin fəaliyyəti ilə bağlayırlar. Qeyd edilir ki, bu zaman bölünməyən hüceyrələrin norma ilə mitotik tsiklə daxil olması da mümkündür ki, nəticədə «zədələnmiş» hüceyrələr «zədələnməmişlərlə» əvəz olunurlar (Серебряный А.М., Зоз Н.Н., 2001).

Kiçik dozalı ionlaşdırıcı şüalanmanın bitki orqanizmlərində fizioloji - biokimyəvi prosesləri stimullaşdırması mexanizmlərinə dair təsəvvürlər üzərində dayansa q görərik ki, canlı orqanizmlərin «zədələnməsinə» səbəb olan yüksək dozalı

radiasiyanın təsirindən fərqli olaraq, “radiostimullaşma” -nın əsasında oksidləşmiş doymamış yağ turşularının və polifenolların yaranması dura bilər (Кузун А.М., 1989). Məlum olduğu kimi, peroksid tipində olan bu cür maddələr triqqer mexanizmi üzrə təsir edərək nəhəng gen bloklarının ekspressiyasını aktivləşdirir və nəticədə müxtəlif birləşmələrin sintezini sürətləndirir (Кузун А.М., 1995). Hesab edilir ki, radiasiyanın stimullaşdırıcı təsiri həmçinin vacib hüceyrə komponentlərinin (məsələn, xlorofillərin) labil formalarının miqdarının artmasına səbəb ola bilər (Гапоненко В.И. и др., 1996). Normal şəraitdən fərqli olaraq, ekstremal şəraitdə bu formalar daha az dayanıqlı, ya da daha çox rezistentliyə malik ola bilərlər ki, bu hallarda da stimullaşdırıcı şüalanma dozası bir-biri ilə ziddiyyət təşkil edən nəticələrə gətirib çıxara bilər.

“Kiçik doza” anlayışına bir qədər dəqiqlik gətirməyə çalışaq. Qeyd edək ki, kiçik doza anlayışı şüalanmaya məruz qalan obyektin növündən və onun şüalanma şəraitindən asılı olan kifayət qədər geniş intervala malikdir. Aydınır ki, şüalanmanın molekulyar və hüceyrə səviyyəsində bioloji təsir mexanizmini aydınlaşdırmaq üçün udulma dozasının miqdarını bilmək çox vacibdir. Bu səbəbdən də kiçik doza sərhəddini müəyyənləşdirmək üçün kifayət qədər böyük təsir müddətində xoşagəlməz effektlər yarada bilməyən minimal doza həddi məlum olmalıdır. Adətən, *təbii radiasiya fonundan 50-100 dəfə böyük olan radiasiya dozası kiçik doza adlanır.*

Qeyd edək ki, kiçik doza intervalının özü kimi, kiçik dozalı radiasiyanın bioloji təsirinə dair fikirlər də müxtəlifdir (Гераскин С.А., 1995, с.563-570; Гераськин С.А., 1995, с. 571-580). Bir qrup tədqiqatçılar kiçik dozalı radiasiyanı radioaktiv şüalanmanın bioloji obyektlərdə müsbət effektlər yarada bilən həddi kimi qəbul etməyin tərəfdarı kimi çıxış edirlər. Burada maraqlı bir faktı da qeyd etmək yerinə düşərdi. Belə ki, son illər biogeosenozlara təsir edən ionlaşdırıcı şüalanmanın ətraf mühitin iqlim, istilik faktorları, kimyəvi çirklənməsi və s. ilə birgə təsirindən söhbət gedir (Гераськин С.А. и др., 2002; Евсеева Т.И., Гераськин С.А., 2003; Еськов Е.К., Левин В.И., 2002). Müxtəlif faktorların radiasiya ilə bu cür kombinasiya təsiri sinergetik effektlərin, yəni “birgə təsirin ayrı-ayrı faktorların təsirinin cəmindən çox olması” kimi fenomenlərin yaranmasına səbəb olur.

Radiobioloji tədqiqatlar əksər hallarda stratosferdən radionuklidlərin çox da böyük olmayan global çöküntüləri nəticəsində yaranmış lokal çirklənmiş ərazilərdə aparılır. Nadir hallarda isə bu cür tədqiqat işləri xüsusi təcrübə sahələrində və ya radioaktiv sənaye tullantıları ilə çirklənmiş ərazilərdə aparılır. Aydınır ki, belə ərazilərdə şüalanma dozası əhəmiyyətli dərəcədə radionuklidlərin növ tərkibindən, onların toplanma və miqrasiya xüsusiyyətlərindən, torpaqda sorbsiyəmə və yuyulma qabiliyyətindən asılı olmalıdır. Ona görə də radioaktiv çirklənmənin təbii mühitə təsiri son nəticədə bu faktorların hər birindən asılı olmalıdır. Bu baxımdan, radiobiologiyada kiçik dozalı ionlaşdırıcı şüalanmanın yarada biləcəyi genetik effektlərin təbiətinin aydınlaşdırılması mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu məsələnin təbiətinin dəqiqliyi ilə aydınlaşdırılmamasına səbəb, ilk növbədə, DNT “zədələnməsinin” molekulyar mexanizminin dəqiqləşdirilə bilməməsidir.

İonlaşdırıcı şüalanmanın böyük dozalarda DNT molekulunda yaratdığı “zədələnmələrin” fotonların birbaşa makromolekulun birinci quruluşuna təsiri ilə baş verməsi məlumdur. Bu təsir, birbaşa təsir adlanır. Kiçik dozalı şüalanma halında isə bu məsələ hələ də aydınlaşdırılmamış qalır. Daha dəqiq desək, bu məsələyə dair fikir birmənalı deyil. Fikirləşmək olar ki, bu halda da “zədələnmə”, yüksək doza halında olduğu kimi, ya birbaşa yaranır, ya da bu zaman hüceyrənin belə təsirə cavab reaksiyası bir çox aralıq proseslərin işə düşməsinə səbəb olur. Əgər hüceyrənin bu halda cavab reaksiyası son nəticədə onun sağ qalması ilə nəticələnirsə (fərqi yoxdur, ya gen “zədələnmələrinin” miqdarını azaldan proseslərin yaranması hesabına, ya potensial təhlükəli “zədələnmələrin” bir qrup hüceyrəni məhv etməsi hesabına, ya da son nəticədə təsirə daha yaxşı uyğunlaşa bilən genetik hüceyrə müxtəlifliyinin artması hesabına), onda DNT-nin informasiya və struktur ardıcılığının dəyişməsinə onun adaptiv cavabı kimi baxmaq olar. Məsələn, göstərmək mümkün olmuşdur ki, müxtəlif stresslər xromosom aberrasiyalarının tezliyinə səbəb olur və fiziki təsirin artması ilə DNT-nin quruluşunda “pozulmaların” sayı da artır. Çox yəqin ki, kiçik dozalı radiasiyanın DNT-də yaratdığı mutasiya dəyişmələrini də bu kateqoriyaya aid etmək olar.

Qeyd edək ki, bir qrup müəlliflər (*Гуща Н.И. и др., 2002; Пащенко В.М., Лысиков В.Н., 2000*) somatik hüceyrələrdə xromosom aberrasiyalarını orqanizmin xarici təsirlərə adaptiv norma reaksiyası hesab edirlər. Bir çox genetiklər isə mutagenezi, əsasən də onun kiçik təsirlər hesabına yaranmasını, fizioloji problem kimi qəbul edirlər. Onların fikrincə, mutasiya proseslərini yaradan əsas faktorunu kənarında yox, canlı hüceyrənin daxilində axtarmaq lazımdır. Belə aydın olur ki, xarici faktor nəsiləşdirici molekula birbaşa təsir etmir, o, hüceyrədaxili prosesləri dəyişməklə mutasiya yarada bilir.

8.8.1. Kiçik dozalı radiasiyanın stimullaşdırıcı təsiri. Canlı orqanizmlərin radiasiyaya qarşı həssaslığı (*Arabie M.I.E., Jawahar M., 2002; Atak Cimen et al., 1999; Kang Xiang-Yang, Zhu Zhi-Ti Lin Hui-Bin., 2000; Perez Talavera Susana, Gonzalez Nunez Luis Manuel., 2002; Perez Talavera Susana., 2002; Perez Talavera Susana et al., 2002*), onların radiasiyanın zərərli təsirlərinə qarşı davamlılığı (*Буджуаишвили Д.М., Звиададзе Н.Д., 2002, Стогний В.В., 2000, Шестопалова Н.Г. и др., 2004; Perez Talavera S., 2000; Yoshioka Toji et al., 2000*), daha dəqiq desək, radiasiyanın zərərli təsirlərinə müqavimət göstərə bilməsi, həmçinin də radiasiya şəraitinə uyğunlaşması (*Баева Е.Ю., Шестопалова Н.Г., 2004; Дмитриев А.П. и др., 2002; Косаковская И.В., Гудкова Н.В., 2004; Ставицкий Р.В. и др., 2002; Шилова Е.Н. и др., 2004*) və s. kimi problemlərin mexanizmlərinin aydınlaşdırılması radiobiologiya elminin əsas tədqiqat istiqamətləri hesab olunur. Adı çəkilən tədqiqat istiqamətlərində bu problemlər radiorezistentlik, radioadaptasiya, radiostimullaşma adlandırılır. Aydındır ki, kiçik və böyük dozalı ionlaşdırıcı şüalanmanın təsiri bioloji obyektlərin radiohəssaslığından əhəmiyyətli dərəcədə asılı olacaqdır (*Чанкова С.Г. и др., 2000*). Bu isə, ionlaşdırıcı şüalanmanın həm kənd təsərrüfatı heyvanlarının və müxtəlif

bitkilərin zərərverici və parazitlərdən zərərsizləşdirilməsi, həm də şüalanma növünün seleksiya və mədəni bitkilərin məhsuldarlığının artırılması kimi praktiki işlərdə istifadəsinə şərait yaratmış olacaqdır. Bundan əlavə, radiohəssaslığa dair müəyyən qanunauyğunluqların aşkar edilməsi və bu qanunauyğunluqların mexanizmlərinin aydınlaşdırılması müxtəlif orqanizmlərin radiasiyanın zərərli təsirindən mühafizə tədbirlərinin işlənilib hazırlanmasına da kömək edəcəkdir. Radiobiologiya elminin qarşısında duran çoxlu sayda problemlərin içərisində üç problem çox əsasdır. Bunlar radiohəssaslıq, radiasiya mutagenesi və radiasiyanın uzaq təsirlərinin öyrənilməsi problemləridir.

Məlum olduğu kimi, kiçik dozalı radiasiyanın stimullaşdırıcı təsiri bitkilərin boyatma və inkişafının artmasına səbəb olur ki, bu da, ilk növbədə, onların biomorfoloji və reproduktiv xüsusiyyətlərində özünü göstərir (*Беляченки Ю.Г., 2000; Богомолов М.А., Мазенин М.Г., 2000; Honda I. et al., 2003; Kumar Sunil et al., 2002*). Radiostimullaşmanın çoxdan məlum olmasına və geniş öyrənilməsinə baxmayaraq, onun ayrı-ayrı detalları hələ də aydınlaşdırılmamış qalır. Fərz olunur ki, bu fenomenin əsasında hüceyrə bölünməsinin stimullaşması dayanır ki, buna da səbəb nüvə bölünməsinin fəallaşması ilə nəticələnən DNT sintezinin sürətlənməsidir (*Гродзинский Д.М., 1989*). Bu sahədə aparılmış son illərin tədqiqatları göstərir ki, kiçik dozalı radiasiyanın təsiri bitkilərin yüksək dozalı radiasiyaya qarşı davamlılığının da artmasına səbəb olur. Belə çıxır ki, kiçik dozalı radiasiyanın təsirinə bitkilər adaptiv cavab verir. Məsələn, məlum olmuşdur ki, γ - radiasiyanın mutagen effekt yarada bilməyən dozası ilə (*15 – 50 rad*) şüalanan bitkilərin həm yüksək dozalı radiasiyaya, həm də müxtəlif kimyəvi təsirlərə davamlılığını artırır (*Куликов Н.В., и др., 1991*). Hesab edilir ki, bitkilərin radiasiyaya qarşı adaptiv reaksiyası reparasiyanın indusibel sistemlərinin fəaliyyətinin nəticəsidir. Belə ki, radiasiyanın yaratdığı “zədələnmə” *de novo* reparativ fermentlərin sintezi üçün signal rolunu oynaya bilər. Qeyd edək ki, reparasiyanın təqdim olunan formada mexanizmini mikroorqanizmlər və canlı hüceyrələr üçün təcrübi yolla sübut etmək mümkün olmuşdur (*Lindahi T. et al., 1988*). Bitkilər üçün isə, oxşar formada proseslərin baş verə bilməsinə baxmayaraq, bu fenomen az öyrənilib. Bitkilərdə bu proses əsasən xromosom mutagenesi, daha dəqiq desək, mitozun ilk şüalanmasından sonra xromosom aberrasiyalarının sayının və xarakterinin dəyişməsi əsasında öyrənilib (*Цыпугина В.Г., 2002; Шершунова В.И., 2000; Guo Jian-hui, Huang Xi-dong., 2001; Zaka R. et al., 2002*).

Bitkilərdə adaptiv cavabın nəticələrinin hətta sonrakı nəsillərdə də özünü göstərə bilməsi adaptiv cavaba dair ümumiləşdirilmiş reparativ mexanizmin yeganə mümkün ola bilən mexanizm olmadığını göstərir (*Серебряный А.М., Зоз Н.Н., 2001*). Radionuklidlərlə çirklənmiş ərazilərdə kiçik dozalı radiasiyanın xroniki təsiri bitkilərdə böyük miqdarda sitogenetik “zədələnmələrə” səbəb olur ki (*Гераськин С.А., 2003; Евсеева Т.И., Гераськин С.А., 2003; Куцоконь Н.К. и др., 2002; Святова Г.С. и др., 2002; Zhou Li-ren et al., 2003*). Bu isə xroniki təsir şəraitində mutasiya proseslərinin sürətlənməsinə və bunun məntiqi nəticəsi olaraq, həmin şəraitdə bitkilərin genetik heterogen populyasiyalarının formalaşmasına səbəb olur (*Абрамов В. И. и др., 1995*).

Digər tərəfdən, radiasiyanın xroniki təsirinə məruz qalan bitkilərdə onların müdafiə sisteminin, yəni radiasiya “zədələnmələrini” reparasiya edən sistemin “fəallaşması” da mümkündür (*Gudkova N.V., Kosakivska I.V., 1998*). Bu zaman bitkilərin müxtəlif stres faktorlarına, o cümlədən də radiasiyanın xroniki təsirinə adaptasiyası onların antioksidant sistemlərinin aktivləşməsi (antioksidant birləşmələrin sintez olunması) ilə izah oluna bilər. Məsələn, məlumdur ki, bitkilərin UB - şüalanmadan əsas müdafiə sistemini şüalanmanın təsiri ilə onlarda toplanan flavonoid və antosian birləşmələri formalaşdırır. Bu birləşmələrin epidermis toxumalarında və yarpaqların mezofilində xloroplastların ətrafında olması şüalanmanın yarada biləcəyi “zədələnmə” ehtimalını azaldır (*Дубров А. П., 1963*). Göründüyü kimi, radioaktiv şüalanmanın yaratdığı radiostimullama, radioadaptasiya kimi proseslərin molekulyar mexanizminin aydınlaşdırılması üçün bitkilərin biomorfoloji, reproduktivlik, rezistentlik və genetik xüsusiyyətlərinin öyrənilməsinə böyük ehtiyac vardır.

8.8.2. Radiohəssaslıq problemi. Bu problem radiobiologiya elminin mərkəzi problemlərindən hesab olunur. Radiobioloji tədqiqatların nəticələrindən aydın olur ki, bəzi hüceyrə və orqanizmlərin 10 və ya 100 rad doza ilə şüalanması onların bölünməsinin dayanmasına, eybəcər forma almasına və ya məhv olmasına səbəb olduğu halda, digərləri hətta bundan 1000 dəfə böyük olan dozalarda belə hiss olunacaq dəyişikliklərə məruz qalmırlar. Həmçinin də bir fizioloji haldan digərinə keçərkən eyni bir hüceyrənin radiohəssaslığı 10 dəfələrlə dəyişə bilər və istənilən bircins populyasiyanın eyni şəraitdə bərabər şüalanması bir qrup orqanizmlərin məhvini, digərlərinin isə bu şüalanmaya asanlıqla uyğunlaşmasına səbəb olur. Aydındır ki, sadalanan problemlərin həlli üçün ilk növbədə radiasiyanın canlı hüceyrələrə təsir mexanizmlərini aydınlaşdırmaq lazım gəlir.

Bitkilərin radiohəssaslığına dair külli miqdarda tədqiqat işləri Bruk Haven (ABŞ) laboratoriyasının əməkdaşları tərəfindən aparılmışdır. Tədqiqat işlərinin nəticələri bitkilərin radiohəssaslığı ilə onların hüceyrələrində olan DNT-nin miqdarı arasında asılılığın olmasını göstərdi. Daha dəqiq desək, radiasiyanın xroniki təsirinə məruz qalan 23 növ müxtəlif bitki üzərində aparılan tədqiqatlar onlara bitkilərin radiohəssaslığının hüceyrədə olan DNT - nin miqdarı ilə düz mütənəsib olmasını aşkar etməyə imkan verdi (*Савин В.Н., 1981*).

Digər bir işdə isə çoxlu sayda başqa növ bitkilər üzərində aparılan tədqiqat işləri bitkilərin radiohəssaslıq dərəcəsinin xromosomların sayından, nüvənin həcmindən və DNT - nin miqdarından asılı olmadığını göstərdi (*Sarric Y.G., 1961*). Bu zaman diploidlərin radiasiyaya qarşı daha davamlı, tetraploidlərin isə daha həssas olması müəyyən edildi. Bəzi hüceyrələrdə nüvənin radiohəssaslığının sitoplazmanın həssaslığından 1000 dəfəyə qədər çox olması, bəzilərdə isə bunlar arasında fərqin olmaması aşkar edildi (*Sarric Y.G., 1961; Тордия Н.В. и др., 1999, №6, с.*).

Orqanizmlərin radiohəssaslığının onda olan oksigenin konsentrasiyasından və suyun miqdarından asılığı da aşkar edilmişdir (*Sarric Y.G., 1961*). Paramaqnit rezonans metodu ilə müəyyən edilmişdir ki, müxtəlif radiohəssaslığa malik olan toxumlar eyni

doza ilə şüalanmaya məruz qaldıqda özlərində müxtəlif sayda uzun müddət yaşaya bilən sərbəst radikallar toplayırlar. Həmçinin də göstərilmişdir ki, toxumların eyni bir növünün müxtəlif sortlarının radiohəssaslığı ilə onların tərkibində olan zülal və lipidlərin miqdarı arasında da müəyyən asılılıq mövcuddur (*Краснов М.С. и др., 2003*).

Qeyd edək ki, radiohəssaslıq probleminin öyrənilməsində məqsəd yalnız bu hadisənin təbiətini açmaq deyil. Bu istiqamətdə aparılan tədqiqat işləri həm də bitkilərin radiohəssaslığının dəyişdirilməsinin praktiki yollarının axtarılması məqsədi ilə aparılır. Aydınır ki, radiohəssaslığın azaldılması yollarının axtarışı canlı orqanizmin radiasiyanın zərərli təsirindən qorunması problemini həll etməyə imkan verəcəkdir. Məlum olduğu kimi, orqanizmin radiasiyanın təsirindən qorunmasının əsas yolu hüceyrələrdə oksigenin toplanmasının qarşısını almaqdır. Bu, radiasiya ilə zədələnmə prosesinin sürətlənməsində oksidləşmənin rolu ilə əlaqədardır. Radikalların tutulması, udulan enerjinin protektor molekuluna ötürülməsi, oksidləşmiş sulfhidril qruplarının reduksiya edilməsi, sərbəst radikalların neytrallaşdırılması və s. kimi yollar da radiasiyanın “zədələyici” təsirinin azaldılması yollarıdır.

Bitkilərin radiohəssaslığının onların radiasiya “zədələnmələrini” reparasiya etmək (yenidən bərpa etmək) qabiliyyəti ilə də sıx bağlı olması müəyyən edilmişdir (*Пельгунов А.Н., 2002; Nagata Toshifumi et al., 1999*). Hesab edilir ki, radiohəssas orqanizmlər yüksək reparasiya qabiliyyətinə malik olan orqanizmlərdir.

8.8.3. Kiçik dozalı radiasiyanın təsirinin uzaq nəticələri. İonlaşdırıcı şüalanmanın ən maraqlı xüsusiyyətlərindən biri onun uzaq təsirə malik olmasıdır. Başqa sözlə desək, ilkin şüalanma baş verən müddətdən keçən bir neçə ay və hətta bir neçə ildən sonra onun təsirlərinin nəticələrinin üzə çıxmasıdır. Təbii olaraq, belə suallar meydana çıxır. Görəsən, şüalanmış orqanizmdə ilk “zədələnmələr” keçən müddət ərzində hansı formada saxlanılır?. Görəsən, keçən müddət ərzində baş verən hansı proseslər son nəticədə bu halların yaranmasına səbəb olur? Görəsən, bu müddət ərzində baş verən proseslərə müdaxilə etməklə onun arzuolunmaz effekt yaratmasının qarşısını almaq olarmı? Qeyd edək ki, bu suallar bu gün də öz cavabını tapmamışdır. Sadəcə olaraq, hesab olunur ki, DNT - nin nukleotid tərkibində baş verən dəyişikliklərin aşkar edilməsi, bu dəyişikliyin şüalanmış orqanizmdə onun bütün həyatı boyu qalması, hətta nukleotidlərin tərkibinin dəyişdiyi halda belə, DNT molekullarının reduplikasiya qabiliyyətinə malik olması şüalanmış orqanizmdə ilkin dəyişikliklərin inkişafı, ötürülməsi və saxlanması mexanizmlərinin aydınlaşdırılması üçün ilkin məlumatlar kimi qəbul oluna bilər (*Евсеева Т.И., Гераскин С.А., 2000 ; Кравец Е.А., Гродзинский Д.М., 1999; Цыцугина В.Г. и др., 2005; Woodhead D.S., 2003*).

Çoxlu sayda tədqiqat işlərinin nəticələrindən aydın olur ki, şüalanmanın tipik uzaq təsirlərindən daha çox təsadüf olunanı bədxassəli şişlərin (leykomiya, sümük və ya yumşaq toxumaların xərçəngi) əmələ gəlməsidir.

Maraqlıdır ki, şüalanmanın uzaq təsirləri geniş dəyişkənliyə malik olur. Məsələn, kənd təsərrüfatı məhsullarının məhsuldarlığı üçün xüsusi əhəmiyyət kəsb

edən – toxumların səpindən əvvəl qamma - şüalanmaya məruz qalması, məlum olduğu kimi, bir klimatik şəraitdə əhəmiyyətli dərəcədə məhsulun keyfiyyət və kəmiyyətinin artmasına səbəb olursa, digər şəraitdə bu effekt özünü göstərə bilmir (*Woodhead D.S., 2003*). Belə çıxır ki, kənd təsərrüfatı bitkiləri misalında şüalanmanın uzaq təsirləri xüsusi hallarda özünü göstərə bilər.

Məlum olduğu kimi, ionlaşdırıcı şüalanmanın bioloji təsirinin əsasında maddənin enerji udmasının fiziki mərhələsi dayanır ki, bu da, radiasiya zədələnməsinin növbəti kimyəvi və bioloji inkişaf mərhələləri üçün start mexanizmi rolunu oynayır. Hazırkı dövrdə radiobiologiyada ionlaşdırıcı şüalanmanın bioloji təsirinin ilkin mexanizminə dair çoxlu sayda təcrübi material toplanmışdır. Müəlliflər daha çox bu şüalanma növünün molekulyar, biokimyəvi, sitoloji təsir mexanizmlərini öyrənməyə səy göstərirlər və bu sahədə müəyyən edilmiş qanunauyğunluqlar əsasında orqanizmin radiasiya zədələnməsinin inkişaf sxemləri təklif olunmuşdur (*Кузин А.М., 1973*). Tamamilə aydındır ki, molekulyar və hüceyrə qanunauyğunluqlarını əsas götürərək şüalanma zədələnməsinin mürəkkəbliyini və müxtəlifliyini izah etmək cəhdləri tam uğurlu ola bilməz. Bu baxımdan, tədqiqatçılar daha çox canlıların tədqiqinə sistemli yanaşmaya üstünlük verirlər. İonlaşdırıcı şüalanmanın bitki orqanizmlərinə təsiri çoxdan öyrənilir. Bu işlərin çoxunda ionlaşdırıcı şüalanmanın bitkilərin boyatma və inkişafı kimi inteqral funksiyalarının təsirinə baxılıb (*Иванов В.И. и др., 2001; Якушев Б.И., Корсеко М.Н., 2002; Gostin Irina et al., 1999; Kobaladze M., Chankseliani Z., 2001; Vassilevska-Ivanova R. Et al., 2000*). Bitkilərə bütöv yanaşma bu işlərdə diqqət mərkəzində olmayıb. Bu baxımdan bütöv bitki orqanizminin ionlaşdırıcı şüalanmanın təsirinə reaksiyasının tam və hərtərəfli öyrənilməsi çox vacib hesab olunur. İonlaşdırıcı şüalanmanın bioloji təsiri hər şeydən əvvəl inteqral udulma dozasından asılı olur. Çoxlu sayda tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, müxtəlif bitki orqanizmlərinin hətta eyni bir şüalanma dozasına reaksiyası eyni olmur və bəzən bitkilərin radiohəssaslığı 100 və daha çox dəfələrlə fərqlənə bilər (*Баева Е.Ю., Шестопалова Н.Г., 2003; Данильченко О.О., Гродзінський Д.М., 2001; Сточний В.В., 1999*). İonlaşdırıcı şüalanmanın müxtəlif dozalarda orqanizmin fəaliyyətinə təsiri **S** – şəkilli əyri ilə xarakterizə olunur. Başqa sözlə desək, bitkilərin boyatmasında dəyişmə toxumlarda müəyyən enerji toplanmasına qədər baş vermir. Toxumların çox kiçik dozalarda şüalanması bitkilərin boyatmasına təsir göstərmir. Dozanın sonrakı artımı bəzi hallarda boyatmanın sürətlənməsinə və onların məhsuldarlığının artmasına səbəb olur. Çox yüksək dozalarda toxumların şüalanması bitkilərin boyatma və inkişafının qabağını kəsir və onların tam məhvini gətirib çıxarır. İonlaşdırıcı şüalanmanın bioloji təsiri təkcə udulma dozasının qiymətindən yox, həm də şüalanmanın təsir müddətindən asılı olur. Kiçik müddətdə baş verən şüalanmanın təsiri həmin dozada uzun müddət baş verən şüalanmanın təsirindən fərqlənə bilər.

Doza - zaman asılılığını “*şüalanma dozasının gücü*” adlanan parametrlə xarakterizə edirlər. Bu parametr vahid zamanda şüalanma dozasını göstərir:

$$P = \frac{D}{t} .$$

Bitki obyektləri üçün şüalanmanın bioloji təsirinin dozanın gücündən asılılığı çoxlu sayda tədqiqatçılar öyrənmişlər. Məsələn, göstərilmişdir ki, şüalanma gücünün ~130000 dəfə artırılması, daha dəqiq desək, şüalanma müddətinin 15 *msan* - dən 2000 *san* - ə qədər artırılması, bioloji effektin dəyişmədiyini göstərsə də, şüalanma müddətinin 4 *saat* - dan 8 *saat* - a qədər artırılması radiobioloji effektin əhəmiyyətli dərəcədə zəifləməsinə səbəb olur (*Шехтман Я.Л. и др., 1958*).

Daimi, xroniki təsirə məruz qalan bitkilər bütün vegetasiya müddətində qamma-şüaların təsirinə məruz qalır. Çoxlu sayda tədqiqatlar göstərir ki, vegetasiya edən bitkilərdə ən böyük radiohəssaslığa malik olan proseslər DNT sintezi və hüceyrə bölünməsidir (*Михайлов О.Ф., Пересынкина Т.Н., 1970*). Arpanın şüalanması göstərmişdir ki, 1,5 *Qr* şüalanma dozası 15 *dəq* - dən sonra bölünən hüceyrələrin sayının azalmasına səbəb olursa, 5 *saat* - lıq şüalanmada bölünən hüceyrələr ümumiyyətlə qalmır. Şüalanma müddəti 2 *gün* olduqda isə bölünən hüceyrələrin sayı artaraq kontroldakı səviyyəyə çatır. Belə çıxır ki, şüalanmanın təsiri iki fazada baş verir. Birinci faza – bölünən hüceyrələrin sayının azalması, ikinci faza – bölünmənin bərpa olunması. Əksər müəlliflərin fikrincə həm DNT, RNT sintezinin və hüceyrə bölünməsinin pozulması, həm də xromosom aberrasiyalarının meydana çıxmasının əsas səbəbi meristemin yüksək radiohəssaslığa malik olmasıdır (*Иким Ю.Г. и др., 2000; Hoeman Soeranto et al., 2003*).

Vegetasiya edən bitkilərdə şüalanmanın törətdiyi uzaq təsirlər ən çox özünü budaqlanmanın və kollanmanın güclənməsində göstərir. Müəyyən edilmişdir ki, ən yüksək radiohəssaslığı bitkilərin yuxarı budaqları göstərir. Qamma şüalanma sahəsində yetişən bitkilərin xroniki şüalanmaya məruz qalmasının əsas xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, bu halda bitkilərin şüalanması çox da böyük olmayan dozalarda bütün ontogenez müddətini əhatə edir. Bu isə o deməkdir ki, bitkilərin şüalanması bir-birindən radiohəssaslığa görə fərqlənən orqanogenezin müxtəlif mərhələlərində baş verir. Çox da böyük olmayan dozalarda bitkinin uzun müddətli şüalanmaya məruz qalması ona səbəb olur ki, xroniki təsir şəraitində eyni “zədələnmə” dərəcəsi birdəfəlik (kəskin) şüalanma ilə müqayisədə daha yüksək dozalarda baş verir. Əksər kənd təsərrüfatı bitkiləri üçün 100 *gün* ərzində xroniki təsirə məruz qalmış bitkilərin boyatmasının qarşısının alınması 50-100 *Qr* şüalanma dozasında baş verdiyi halda, həmin bitkilərin kəskin şüalanması zamanı hüceyrə bölünməsinin tamamilə dayanması 20 - 300 *Qr* - lərdə baş verir. Kəskin şüalanmadan fərqli olaraq, xroniki şüalanma zamanı bitkilərin müxtəlif sistematik qruplarının radiohəssaslığının eyni olmaması çox aydın şəkildə özünü büruzə verir. Məsələn, əgər tradeskansiyalarda böyük morfoloji dəyişikliklər şüalanma gücünün 0.3 - 0.4 *Qr/sutka* qiymətlərində müşahidə olunursa, belə dəyişikliklər qladioluslar üçün 50 – 60 *Qr/sutka*, yəni 100 dəfə böyük qiymətlərdə baş verir.

Xroniki şüalanmada, kəskin şüalanmada olduğu kimi, yuxarı meristemlər daha çox radiohəssaslığa malik olurlar. Belə ki, bu zaman bitkinin əsas gövdəsinin boyatmasını tormozlayan (ləngidən) dozalarda şüalanması onun kollanmasının və budaqlanmasının sürətlənməsinə səbəb olur. Məsələn, məlumdur ki, buğdanın xroniki

şüalanması zamanı budaqların sayı 25 dəfə arta bilir ki, bu da yetişmiş bitkinin kütləsinin 6 dəfəyə qədər artması deməkdir (*Cezvigni T., et al., 1962*).

Vegetasiya edən bitkilərin boyatmasına şüalanmanın təsirinin öyrənilməsinə dair ədəbiyyat materiallarını ümumiləşdirərək aşağıdakı nəticələrə gəlmək olar:

- şüalanmanın toxuma və bitkiyə təsirinin ümumi qanunauyğunluqları eynidir;
- hər iki halda təsir udulma dozasından asılı olur;
- bitkilərin məhsuldarlığının artması, onların inkişafının sürətlənməsi kiçik dozalarda baş verir;
- böyük dozalarda bitkilərin boyatmasının dönməz tormozlanması, məhsuldarlığın kəskin azalması, onların yaşama ehtimalının azalması baş verir;
- orta dozalarda şüalanma zamanı isə müəyyən müddət davam edən tormozlanmadan sonra boyatmanın bərpa olunması, normallaşması etarı başlayır.

8.8.4. Kiçik dozalı radiasiyanın fotosintez prosesinə təsiri. İonlaşdırıcı şüalanmanın bioloji əhəmiyyətli maddələrə, onların miqdarına və mübadiləsinə təsirinə dair kifayət qədər tədqiqat materialları mövcuddur. Şüalanmanın təsiri ilə canlı hüceyrənin makromolekulyar komponentlərinin normal strukturunun dəyişməsi mümkündür. Bununla yanaşı, çoxlu sayda *in vitro* tədqiqatlarının nəticələri bioloji əhəmiyyətli maddələrin radiasiyaya qarşı davamlılığının kifayət qədər yüksək olması fikrini söyləməyə əsas versə də, bu maddələrin hüceyrədə sintezinin radiasiyanın təsirinə kifayət qədər həssas olması da istisna edilmir. Məsələn, DNT sintezinin bu cür təsirə daha çox həssas olmasına dair məlumatlar mövcuddur (*Мухайлов О.Ф., Пересынкина Т.Н., 1970*).

Hüceyrə metabolizminin dəyişməsində əsas rolu onun struktur quruluşunun və membranının dəyişməsi oynayır. Mübadilə reaksiyalarının çox pilləli olması şüalanmanın fəaliyyətdə olan prosesləri pozmasına səbəb olur ki, bunun da nəticəsində bu və ya digər maddələrin miqdarının artması və ya azalması, həmçinin də şüalanmış orqanizmdən maddələr mübadiləsinin köklü dəyişməsinə səbəb ola bilən radiotoksinlər kimi anomal metabolitlərin yaranmasına səbəb olur. Karbohidratların və digər maddələrin miqdarının artmasını Kuzin (*Кужин А.М., 1995*) haqlı olaraq şüalanmanın son nəticədə törədə bildiyi fəsadlara aid edir. DNT-nin həm keyfiyyət, həm də kəmiyyət cəhətdə sintezinin yüksək radiohəssaslığa və fotosintezin yüksək radiorezistentliyə malik olmasına əsaslanaraq, Kuzin hesab edir ki, şüalanma fotosintezə toxunmadan nuklein mübadiləsinə cavabdeh olan requlyator funksiyalarını pozur ki, bu da son mərhələdə karbohidratların miqdarının artması ilə nəticələnir. Şüalanmanın metamer orqanlara (yarpaqlara, zoğlararası məsafəyə, yan ləçəklərə) təsiri bitkilərin şüalanmaya qədər formalaşma dərəcəsindən asılı olur. Buna görə də bitkinin özünün və yaxud da onun toxumun şüalanması zamanı müxtəlif yaruslara uyğun yarpaqlarda zədələnmələr müxtəlif olur. Buna uyğun olaraq, quru maddənin

miqdarının dəyişməsi də eyni olmur. Belə ki, hətta kiçik dozalarda belə şüalanmanın təsiri ilə üst yaruslardakı yarpaqların sahəsinin böyüməsinin tormozlanması və onlarda quru maddələrin miqdarının artması müşahidə olunursa, aşağı yarusların yarpaqlarının sahəsi dəyişmir və onlarda quru maddələrin miqdarı artmır.

Şüalanmanın təsiri özünü təkcə karbohidratların miqdarında deyil, həmçinin də xlorofilin miqdarında göstərir. Belə ki, hətta şüalanmadan *10 gün* sonra əsas gövdənin inkişafını tormozlayan şüalanma dozasında bitkinin rənginin tünd-yaşıl rəngdə olması aydın hiss olunur. Xlorofillin təyini göstərir ki, bitkilərdə yarpaqların sahəsinin artmasını tormozlayan dozalarda belə (*10 Qr* - dən böyük) şüalanma xlorofilin miqdarının orta və yuxarı yaruslarda kəskin artmasına səbəb olur. Bu zaman həmçinin karbohidratların və mineral maddələrin miqdarı da kəskin artır. Məlum olduğu kimi, bitkilərdə boyatmanın tənzimlənməsində fitohormonlar əsas rol oynayır. Bu zaman tənzimləmə prosesi əks xarakterli aktivatorların (auksinlərin, hibberelinlərin, kininlərin) və inhibitorların qarşılıqlı təsiri ilə həyata keçirilir. Bitkilərin həyatında auksinlərin rolu əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir. Onlar hüceyrənin sintez fəaliyyətində xüsusi rol oynayır, plastiki maddələrin və suyun bitki üzrə hərəkətini tənzimləyir, suyun bitkilərə daxil olmasını həyata keçirir və s. Baxmayaraq ki, inhibitorların da tənzimləyici rolu stimulyatorların rolu kimi çox yüksəkdir, şüalanmanın onlara təsiri kifayət qədər öyrənilməmişdir. Şüalanmanın kofein və xlorogen turşuları tipli inhibitorların miqdarına təsirinin öyrənilməsi göstərdi ki, kartofun yarpaq və gövdəsinin *150 Qr* doza ilə şüalanması *24 saat* - dan sonra kofein turşusunun miqdarının *70*, xlorogen turşusunun miqdarının isə *50 %* artmasına səbəb olur (Кызуи А.М., 1970).

Şüalanmanın toksinlərin miqdarına təsirinə dair aparılmış tədqiqat işləri göstərir ki, şüalanmanın təsiri ilə çoxlu sayda radiotoksinlər əmələ gəlir ki, bunun da nəticəsində müxtəlif radiobioloji effektlər meydana çıxır. Kuzin (Кызуи А.М., 1976) hesab edir ki, şüalanma anında yaranan əsas toksiki maddələrdən biri xionondur. Kuzin və əməkdaşları göstərə bilmişlər ki, şüalanmış bitki ekstraktı boyatmanı tormozlamaq, hüceyrə bölünməsinə dayandırmaq, xromosom aberrasiyası yaratmaq kimi radiokimyəvi xüsusiyyətlərə malikdir. İonlaşdırıcı şüalanmanın fotosintez prosesinə təsirinə dair aparılmış tədqiqat işləri bu prosesin radiasiyaya qarşı yüksək davamlılığa malik olduğunu göstərir. Göstərilir ki, hətta *1000 Qr* şüalanma zamanı belə fotosintez prosesi dayanmır və bitkilər işıqda quru maddə yığmağı davam etdirirlər. Nəzərə alsaq ki, hüceyrə bölünməsi *30 Qr* şüalanmada tamamilə dayanır (məsələn, buğdada), bu fotosintezin yüksək radiasiyaya davamlılığa malik olduğunu göstərir. Müəyyən edilmişdir ki, hətta *200 Qr* şüalanmada belə tütün, noxud kimi bitkilərin yarpaqlarında fotosintezin intensivliyinin dəyişməsi müşahidə olunmur. Qeyd edək ki, hətta kiçik dozalarda belə fotosintezin intensivliyinin dəyişməsi müşahidə olunan bitkilərdə də mövcuddur. Məsələn, pambıq bitkisinin *5, 20, 100 Qr* şüalanmaya məruz qalması *10 gün* -dən sonra fotosintezin intensivliyinin azalmasına səbəb olur (Назупов Н.Н., 1964). Fotosintezin intensivliyinin artması müşahidə olunan bitkilər də mövcuddur. Məsələn, qarğıdalı toxumunun *5 - 60 Qr* şüalanmaya məruz

qalması fotosintez prosesinin intensivliyinin artmasına səbəb olur. Qeyd edək ki, fotosintezin stimullaşması müşahidə olunan işlərdə prosesin intensivliyinin təyini kifayət qədər uzun müddət keçdikdən sonra aparılmışdır. Ona görə də, aydındır ki, bu hallarda birbaşa təsir effektindən yox, şüalanmanın uzaq təsirindən söhbət gedə bilər. Bitkilərin nəfəsalma prosesi də kifayət qədər radiasiyaya davamlılıq göstərir. Düzdür, nəfəsalma prosesinin artıb və ya azalması müşahidə olunsada bunu bir çox müəlliflər şüalanmanın boyatma prosesinin özünə təsiri ilə əlaqələndirirlər. Belə ki, hesab olunur ki, şüalanmanın təsiri nəfəsalmanın yox, boyatmanın ləngiməsi nəticəsində bitkinin kütləsini dəyişdirir ki, bu da nəfəsalma intensivliyinin dəyişməsi ilə nəticələnir. Tədqiqatlar təbii işıq şüalanmasının ən yüksək olduğu iyul - avqust aylarında və fotosintez prosesinin ən intensiv olduğu periodda (saat 10 -dan 13 -ə qədər) orta və yuxarı yarusların yarpaqlarında aparılmışdır. Nəfəsalma ayrılan $^{14}CO_2$ qazının qaz analizatorunun köməyi ilə ölçülməsi əsasında öyrənilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, fotosintezin intensivliyinin artıb və ya azalması yarpaqların səth sahələrinin dəyişməsi ilə əlaqədardır. Qeyd olunur ki, fotosintezin intensivliyinin azalması və assimilyatorların şüalanmış yarpaqlardan axını əsas özəyin boyatması və üst yarusda olan yarpaqların səth sahələrinin azalması ilə bağlıdır. Belə ki, əsas özəyin boyatmasının dayanması ona gətirib çıxarır ki, şüalanmamış bitkilərdə boyatma prosesinə sərf olunan assimilyatorların əsas kütləsi şüalanmış bitkilərdə istifadə olunmamış qalır. Buna görə də, hüceyrədə toplanıb qalmış assimilyatorlar boyatma prosesinə cəlb olunmamış qalır. Boyatma proseslərinin yüksək radiohəssaslığını və nəfəsalmanın radiodavamlılığını nəzərə alsaq, belə qərara gəlmək olar ki, ilk postradiasiya periodunda nəfəsalma intensivliyinin azalması bu prosesin şüalanmaya birbaşa cavab reaksiyası deyil. Bu boyatmanın ləngiməsi və enerji sərfinin azalması hesabına baş verən ikinci dərəcəli cavab reaksiyasıdır.

Qeyd edək ki, kiçik dozalı radiasiyanın bitkilərə təsirinə dair ədəbiyyat materialları adaptiv cavab mexanizminin hələ də aydınlaşdırılmadığını göstərir. Aydındır ki, kiçik dozalı radiasiyanın əksər hallarda bitkilərin boyatma və inkişafını sürətləndirməsi bu təsirin fotosintez prosesi ilə üzvi surətdə bağlı olduğuna işarədir.

Kiçik dozalı radiasiyanın bitkilərdə gedən fotosintez prosesinə stimullaşdırıcı təsirinin tədqiqinə dair ədəbiyyat materiallarının təhlili üzərində dayansaq görərik ki, stimullaşdırıcı təsir səpindən əvvəl şüalanmaya məruz qalmış kartof (*Антонов М., Мумева Д., 2001*), qarğıdalı (*Антонов М. и др., 2002*), rozmarin, su salataı, reyhan bitkilərində (*Koseki Paula M. et al., 2002*) qeydə alınmışdır.

Şaşurin və Juravskayanın işlərində (*Шашурин М.М., Журавская А.Н., 2006*) nisbətən yüksək təbii radiasiya fonu şəraitinin qızılağac kolu bitkisinə fotosintez prosesinə təsiri öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, 60 mkr/saat γ - radiasiya fonunda fotosintez prosesinin intensivliyi ~ 40 - 80 % arta bilər. Nəzərə alsaq ki, istənilən stress faktorunun (məsələn, yüksək temperaturun) təsiri fotosistemlər arasında işıq enerjisinin optimal paylanmasını tənzimləyən fotosintetik aparat mexanizminin «pozulmasına» səbəb olur (*Курец В.К. и др., 2003; Hossain Zahed et al.,*

2003), onda müəlliflərin aldığı nəticələri yüksək təbii radiasiya fonunda qızılağac kolunun fotosintetik aparatında oxşar pozulmalar yaratması əsasında izah etmək olar.

Kiçik dozalı radiasiyanın xroniki təsir şəraitində yabanı formada formalaşmış bitkilər üzərində aparılan fenoloji müşahidələr də bəzi bitkilərin biometrik ölçülərində uyğun kontrol nümunə ilə müqayisədə müəyyən fərqlərin olmasını aşkar etməyə imkan verdi (*Cəfərov E.S. və başq., 2005*). Aşkar olunan fərqlərin radiasiyanın stimullaşdırıcı təsiri kimi qəbul oluna bilməsi və onun fotosintez prosesi ilə əlaqəli olmasını müəyyən etmək məqsədi ilə həmçinin də yaşıl piqmentlərin (xlorofil *a* və *b* - nin) və karotinoidlərin kəmiyyət dəyişmələri tədqiq edilmişdir (*Джафаров Э.С., Джафарлы А.К., 2010*). Alınan nəticələrin təhlili birmənalı olaraq radiasiyanın fotosintez prosesinə aşkar təsirinin olmasını söyləməyə əsas verməsə də, kontrol nümunələrlə müqayisədə bitkilərin yaşıl yarpaqlarında piqmentlərin miqdarları arasında müəyyən fərqlərin olmasını və bu fərqlərin fərdi xarakter daşmasını göstərdi (*Orujova J.R., Dzhafarov E.S., 2006*).

Prinsipcə, bəzi hallarda radiasiyanın təsiri ilə tədqiq olunan bitkilərin yarpaqlarında xlorofillərin miqdarının artması faktını piqment biosintezinin stimullaşması kimi qəbul etmək olar. Xlorofillərin miqdarının artmasının səbəbini müəlliflər bu cür effektlərin tək-cə daxili amillərlə deyil, həm də xarici amillərlə, daha dəqiq desək, bitki potensialının realizə olunmasının onun yetişmə şəraitindən asılı ola bilməsi ilə izah edirlər. Düzdür, hər iqlim zonasında bitkilərin aborigen növləri və rayonlaşdırılmış sortları bu zonanın ətraf mühit şəraitinə adaptasiya etmiş olurlar, lakin bitkilərin öz potensialını hansı formada təzahür etdirmələri (bunu fotosintetik piqmentlərin miqdarı əsasında da söyləmək olar) hələ də "tapmaca" olaraq qalmaqdadır. Buna görə də, radiasiyanın, intensivliyi bitkilərin boyatma prosesinin sürəti ilə sıx əlaqədə olan fotosintez prosesinə təsir etməsinə dair qərar vermək (*Мокронос А.Т., 1981*) ehtiyatlılıq tələb edir.

Fotosintez prosesinə bitkilərin yetişmə şəraitinin təsirinə dair oxşar nəticə Zabolotniy və başq. (*Заболотный А.И. и др., 1995*) işlərində də müşahidə olunmuşdur. Müəlliflər müəyyən edə bilməmişlər ki, radiasiyanın bitkilərin boyatma və inkişafını stimullaşdıran dozasının yüksək işıqlılıqla birgə təsiri bəzi soya-paxlalılar fəsiləsindən olan bitkilərdə xlorofil *a* və xlorofil *b* piqmentlərinin sintezini əhəmiyyətli dərəcədə sürətləndirir.

Alınan maraqlı nəticələrdən biri də kiçik dozalı radiasiyanın stimullaşdırıcı təsirinin müxtəlif bitkilər üçün inkişafın müxtəlif mərhələlərində özünü göstərə bilməsi və eyni torpaq - iqlim şəraitində piqmentlərin miqdarının radiasiyanın təsiri ilə dəyişməsinin bitkinin növündən asılı olmasıdır (*Джафаров Э.С., Джафарлы А.К., 2010*). Fotosintetik piqmentlərin miqdarının radiasiyanın təsiri ilə dəyişməsinin bitkinin növündən asılı olması faktı Qonçarovanın (*Гончарова Н.В., 2001*) işində də öz təcrübə təsdiqini tapa bilməmişdir. Müəllif göstərə bilməmişdir ki, əgər radiasiyanın təsiri ilə xlorofillərin konsentrasiyası paxlalı bitkilərdə 14-18 % artırsa, bu zaman yoncada bu miqdar 2 dəfəyə qədər çox olur. Müəllif bunu piqmentlərin biosintezinin radiasiya stimullaşmasının paxlalı bitkilərdə yoncaya nisbətən zəif olması ilə izah edir.

Müxtəlif bitki yarpaqlarının fotosintetik aparatlarının tədqiqinə dair ayrı - ayrı müəlliflərin alınan nəticələri ümumiləşdirərək aşağıdakı fikrə gəlmək olar:

- fotosintez prosesi spesifik adaptasiya qabiliyyətinə malik prosesdir;
- bu prosesdə ətraf mühit şəraiti və bitki potensialı əhəmiyyətli rol oynaya bilər.

Qeyd edək ki, fotosintetik pıqmentlərin miqdar dəyişmələrinə dair alınan bu nəticələrin ümumiləşdirərək inkorporasiya olunmuş radionuklidlərin fotosintez prosesinə təsir mexanizminə dair hansısa fikir söyləmək çətinidir, lakin böyük əminliklə "radiasiya bir bitki üçün bir mərhələdə xlorofillərin sintezini sürətləndirməklə fotosintetik aparatı aktivləşdirirsə, digər mərhələdə xloroplastların ultrasturukturunu dağıtmaqla, fotosintezə mənfəətli təsir göstərir" fikrini söyləmək mümkündür.

Nəzərə almaq lazımdır ki, bu zaman bitkilərin radiasiyanın xroniki təsirinə adaptasiya edə bilməsi də mümkündür (*Березина Н. М., Каушанский Д.А., 1975*).

Belə bir faktı da qeyd etməyi zəruri hesab edirik. Elmi ədəbiyyatda radiasiyanın fotosintetik pıqmentlərin sintezinə və bitkilərdə toplanmasına dair bir - biri ilə ziddiyyət təşkil edən nəticələr mövcuddur. Bir bitki üçün verilmiş şəraitdə radiasiya fotosintetik pıqmentlərin miqdarını artırır, digər bitki üçün isə həmin şəraitdə azalır və ya təsir etməyə bilər.

Digər bir işdə paxlalılar fəsiləsindən olan bir qrup bitkilərdə inkorporasiya olunmuş radionuklidlərin bəzi metabolik proseslərə təsiri öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, ionlaşdırıcı şüalanmanın təsiri özünü ilk növbədə fotosintetik pıqmentlərin (xlorofil *a* və xlorofil *b*) miqdarının artmasında və həllolunabilən zülalların miqdarının isə azalmasında göstərir. Bu zaman xlorofilləri hidroliz edən xlorofilləzə fermentinin aktivliyinin əhəmiyyətli dərəcədə azalması və yarpaqların xüsusi aktivliyindən və bitkilərin növ mənsubiyyətindən asılı olaraq, lipidlərin peroksidləşməsi proseslərinin aktivliyinin artması müşahidə olunmuşdur. İşdə radiasiyanın təsiri ilə CO_2 -nin assimilyasiya intensivliyinin artması da qeydə alınmışdır (*Антонов М., Мутева Д., 2001*).

Həmçinin də müəyyən edilmişdir ki, fotosintez prosesində əhəmiyyətli rol oynayan peroksidaza və superoksiddismutaza fermentləri müxtəlif radiohəssaslığa (*Hossain Zahed et al., 2003; Джафаров Э.С., Джафарлы А.К., 2010*), funksional aktiv xlorofil-zülal kompleksi isə fotosistem sturuktur elementləri ilə müqayisədə daha yüksək radiodayanaqlılığa (*Сааков В.С., 2000; Сааков В.С., 2002*) malik olurlar.

Qeyd edək ki, bəzi tədqiqatçıların işlərində kiçik dozalı radiasiyanın fotosintetik pıqmentlərin biosintezinə stimullaşdırıcı təsir etməsi aşkar edilsə də, digər işlərdə radiasiyanın təsiri ilə xlorofil və karatinoidlərin sintezinin əsaslı surətdə zəifləməsi qeyd edilir. Stimullaşma aşkar olunan işlərdə qeyd edilir ki, radionuklidlərlə çirklənmiş ərazilərdə formalaşmış bitki hüceyrələrinin membranlarına ionlaşdırıcı şüaların təsiri həm fotosintetik pıqmentlərin miqdarının, həm də xloroplastların fotokimyəvi aktivliyinin artmasına səbəb olur. Hesab edilir ki, belə təsir membranlarda oksidləşmə proseslərinin inkişafına zəmin yaradır və nəticədə fotosintetik reaksiyaların aktivləşməsi membranların quruluş və xassələrində əsaslı

dəyişikliklər yaradır (*Заболотный А.И. и др., 1995; Тишкевич Т.К. и др., 1993*).

Hal - hazırda mövcud olan təsəvvürlərə əsasən fərz etmək olar ki, radionuklidlər bitkilərin hüceyrə membranlarına təsir etməklə oksidləşmə proseslərinin inkişafına təsir edir. Bu təsir membranların xassə və vəziyyətinin dəyişməsinə, son nəticədə isə fotosintetik reaksiyaların aktivləşməsinə səbəb olur (*Заболотный А.И. и др., 1995*).

Digər tərəfdən də məlumdur ki, orqanizmlərin qeyri-radiasion ekoloji şəraitlərə uyğunlaşması nəticəsində radiohəssaslığının dəyişməsi spesifik deyil və hər növün stress şəraitinə uyğunlaşması intakt populyasiyaya xas olan inkişaf qanunauyğunluqlarını dəyişdirə bilər (*Журовская А.Н. и др., 1998; Йорданова Р.И. и др. 2003; Маслова Т.Г. и др., 2003; Пустовойтова Т.Н. и др., 2003*).

Qeyd edək ki, ionlaşdırıcı şüalanmanın canlı orqanizmlərə xroniki təsirini öyrənərkən çöl şəraitində radionuklidlərlə çirklənmiş ərazilərdə bitən bitkilərə daha çox üstünlük verilir. Bu onunla əlaqədardır ki, bitkilər təbii trofiki zəncirin ilkin həlqəsi olmaqla yanaşı, həm də radionuklidlərin udulmasında əsas rol oynayır. Belə ki, bitkilərin (söhbət ot bitkilərindən gedir) kök sistemləri torpağın radionuklidlərlə daha çox çirklənmiş üst qatında yerləşir.

Radioaktiv çirklənmənin törədə biləcəyi təsirləri qiymətləndirərkən belə bir faktı da nəzərə almaq lazımdır. Məlumdur ki, tədqiq olunan parametrlərin növdaxili dəyişkənliyə bu cür çöl şəraitində (laboratoriya şəraitindən fərqli olaraq) həm də ekoloji şəraitin mümkün fəza və zaman dəyişkənliyi kimi qeyri-radiasion təbiətli amillər də təsir göstərə bilər. Quraqlıq, şoranlıq, yüksək rütubət, yüksək günəş intensivliyi, torpağın mikroelement tərkibi və s. dediklərimizə misal ola bilər (*Дховский П. И др., 2003; Смолянина С.О. и др., 2006*). Sadalanan təsirlər özünü həmçinin də bu təsirlərə həssas olan fotosintez prosesində göstərə bilər. Həqiqətən də müəyyən edilmişdir ki, kiçik dozalı radiasiyanın həm fotosintetik aparatın sturukturuna, həm də fotosintez prosesinin özünə təsiri mühitdə digər amillərin iştirakı zamanı sürətlənə bilər (*Гончарова Н.В., 2001; Джафаров Э.С., Джафарлы А.К., 2010*). Məlumdur ki, torpaqda qurğuşun və kadmiyum mikroelementlərinin olması bitkilərin yaşıl yarpaqlarında piqmentlərin miqdarına təsir edə bilmədiyi halda, bu elementlərin γ - radiasiya ilə birgə təsiri noxud yarpaqlarında xlorofil **a** və xlorofil **b** piqmentlərinin miqdarının dəyişməsinə səbəb ola bilər (*Гончарова Н.В., 2001*). Hesab edilir ki, bu halda xlorofil **a** daha çox dəyişməyə məruz qalır. Belə nəticəyə müəlliflər xlorofil **a** və xlorofil **b** nisbətlərinin azalması (kontrol bitki üçün bu nisbət 2.9, şüalanmış bitki üçün isə 1.7-1.9) əsasında gəlmişlər.

Belə bir təsir Cu^{2+} ionlarının iştirakı ilə də müşahidə olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, adı çəkilən ionların γ - radiasiya ilə birgə təsiri bitki yarpaqlarının əsas fizioloji - biokimyəvi göstəricisi olan fotosintetik piqmentlərin miqdarını dəyişməklə, fotosintez prosesinə stimullaşdırıcı təsir göstərir. Noxud bitkisinin inkişafının ilkin mərhələsində 0 - 1.5 Qr -ə qədər bütün dozalarda xlorofillərin (**a+b**) konsentrasiyasının artması bunun əyani sübutu kimi qəbul edilmişdir (*Икум Ю.Г. и др., 2000; Orujova J.R., Dzhafarov E.S., 2006*).

Oxşar mənzərə Korsekonun işində (*Корсеко М.Н., 2002*) də müşahidə olunmuşdur. Adı çəkilən işdə səpindən əvvəl toxumları bağlı qurğuşun kamerada yerləşdirilmiş arpa, buğda və çovdar bitkilərinin torpaqüstü orqanlarında xlorofil *a*, xlorofil *b* və karotinoidlərin miqdarını müəyyənləşdirərkən təbii radiasiya fonu şəraitində yetişdirilən bitkilərdəki miqdardan fərqləndiyi aşkar edilmişdir. Kameranın məhlulunun əlavə olunması piqmentlərin miqdarı arasında fərq yaratmışdır.

Belə çıxır ki, *Pb, Cd*, həm də *Cu* və *K* kimi elementlərin iştirakı ilə radioaktiv şüalanmanın bitkiləin fotosintetik aparatında törətdiyi proseslər onların boyatmasını müəyyənləşdirən proseslərlə müqayisədə özünü daha aydın xlorofil sintez edən sistemdə göstərə bilər.

Maraqlıdır ki, kiçik dozalı radiasiyanın fotosintez prosesinə kombinasiya təsiri təkcə metal ionlarının yox, həm də müxtəlif preparatların iştirakı ilə baş verə bilər. Məsələn, müəyyən edilmişdir ki, «Azofos-M» preparatının təsiri ilə radionuklidlərlə çirklənmiş ərazidə yetişən kartofda kontrol nümunə ilə müqayisədə fotosintetik piqmentlərin əmələgəlmə prosesi aktivləşir. Bu zaman yarpaqlarda xlorofillərin toplanması (*a+b*) 14 %, karotinoidlərin toplanması isə 20 % - ə qədər arta bilər ki, bu da, müəlliflərin fikrincə, bitkilərin məhsuldarlığının artmasında xüsusi əhəmiyyət kəsb edir (*Гапоненко В.И. и др., 2002*).

Qeyd edək ki, ətraf mühit faktorlarının radioaktiv şüalanma ilə birgə təsiri həmişə sinergetik effektlər yarada bilmir. Bu zaman belə təsirlər, bəzi hallarda əksinə, proseslərin ləngiməsi ilə nəticələnir. Qoponenko və Şamal (*Гапоненко В.И., Шамаль Н.В., 2006*) ionlaşdırıcı şüalanmanın quraqlıq şəraitində arpa və acıpaxla bitkilərinin fizioloji-biokimyəvi xüsusiyyətlərinə təsirini öyrənmişlər. Boyatma və inkişaf göstəricilərinə, fizioloji-biokimyəvi meyarlara (fotosintetik piqment və zülallərin konsentrasiyaları) əsasən hər iki stress amili şəraitində daha yüksək adaptasiya potensialının formalaşması qeyd edilir. Daha dəqiq desək, müəyyən edilmişdir ki, quraqlıq-radiasiya şəraitində, yalnız radiasiya şəraiti ilə müqayisədə, xlorofillərin (*a+b*) konsentrasiyası 2.0, karotinoidlərin konsentrasiyası isə 1.5 dəfə azalır. Xlorofillərin karotinoidlərə nisbətinin (*(a+b) / karot.*) 1.4 dəfə azalmasını müəlliflər bitkilərdə quraqlığın təsirinə qarşı adaptiv cavabın formalaşması, karotinoidlərin mühafizə funksiyasının güclənməsi ilə izah edirlər.

Dediklərimizi ümumiləşdirərək belə nəticəyə gəlmək olar ki, radiasiyanın digər ətraf mühit faktorları ilə birgə təsiri həmişə sinergetik effektlər yarada bilmir. Bu effektlər verilmiş bitki üçün konkret şəraitdə və müəyyən bir inkişaf mərhələsində realizə oluna bilər. Nəzərə alsaq ki, piqmentlərin biosintezi həmçinin də xlorofillə fermentinin aktivliyindən asılıdır, onda bu fermentin aktivliyinin dəyişməsinin müəyyənləşdirilməsi əsasında radiasiyanın stimullaşdırıcı təsirinin olmasını tam əminliklə söyləmək mümkündür. Bundan əlavə, bitkilərdə radiasiyanın təsirindən mühafizə sisteminin formalaşmasında fəal iştirak edən katalaza, peroksidaza və superoksiddismutaza fermentlərinin aktivliklərinin öyrənilməsinə də böyük ehtiyac vardır. Yalnız bunlardan sonra kiçik dozalı radiasiyanın bitkilərdə piqment sintezinə təsir mexanizminə dair konkret fikir söyləmək mümkündür.

**MÜXTƏLİF RADIONUKLİDLƏRİN TORPAQDA VƏ “TORPAQ – BİTKİ” ZƏNCİRİNDƏ
MİQRASIYA XÜSUSİYYƏTLƏRİ**

Aydındır ki, biosferin qlobal antropogen çirklənməsi ətraf mühitin qorunması baxımından müasir dövrün ən aktual və önəmli problemləri ilə bir sırada dayanır. Təhlükəlilik baxımından radioekoloji problemlər də böyük narahatlıq doğurur. Belə ki, insanın əməli fəaliyyəti yaşadığı mühitin radioekoloji vəziyyətinin dəyişməsinə, təbii radiasiya fonunun hər yerdə müntəzəm artmasına, təbii və süni radionuklidlərin miqrasiya axınının sürətlənməsinə, radionuklidlərlə yüksək dərəcədə çirklənmiş lokal ərazilərin yaranmasına və s. səbəb olmuşdur. Son nəticədə biogeosenozların radioaktiv maddələrlə çirklənməsi canlıların populyasiyasına və birgəyaşayışına uzun müddət təsir edə bilən yeni ətraf mühit faktorunun yaranmasına gətirib çıxarmışdır. Bu zaman biogeosenozlarda canlılara təsir göstərə bilən yeni xarici faktorun əmələ gəlməsi ionlaşdırıcı şüalanmanın daimi, xroniki təsirini yaratmışdır ki, bu da, “canlı - ətraf mühit” arasında yeni münasibətlərin formalaşmasına zəmin yaratmışdır. İonlaşdırıcı şüalanmanın mutagen və təkamül faktoru olduğunu nəzərə alsaq, radiasiyanın bioloji təsirinin, radionuklidlərin biosferin komponentlərində miqrasiya qanunauyğunluqlarının və təbii ekosistemin müxtəlif komponentlərində toplanması xüsusiyyətlərinin öyrənilməsinin mühüm əhəmiyyət kəsb etməsi aydın olur.

Qeyd edək ki, şüalanma dozası əhəmiyyətli dərəcədə radionuklidlərin növ tərkibindən, onların torpaqda toplanma və miqrasiya xüsusiyyətlərindən, sorbsiyaetmə və yuyulma qabiliyyətindən, bitkilərdə və müxtəlif orqanizmlərdə toplanma dərəcəsindən asılı olduğundan, radioaktiv çirklənmənin təbii mühitə təsiri son nəticədə bu faktorların hər birindən asılı olmalıdır.

9.1. Radionuklidlərin torpaqda miqdarı

Tədqiqatların nəticələri radionuklidlərin torpaqda miqdarına təsir edən əsas amillərin torpağın qranulometrik tərkibi, humusun miqdarı, torpaq məhlulunun pH -i və s. olmasını göstərir.

Radionuklidlərin torpaqda paylanmasının torpağın geokimyəvi xüsusiyyətindən asılılığının tədqiqinə həsr olunmuş işlər kifayət qədərdir. Müxtəlif torpaqlarda radionuklidlərin paylanmasına dair işlərin birində göstərilir ki, meşə torpaqlarında dərinliyə getdikcə ^{40}K izotopunun miqdarı, praktiki olaraq, dəyişmədiyi halda, ^{137}Cs izotopunun miqdarı kəskin azalır (*Ko S. et al., 2003*). Belə çıxır ki, atmosferdən torpağa düşən *seziyum* əsasən torpağın üst qatında akkumulyasiya olunur. Maraqlıdır ki, təkcə meşə yox, həm də əkin sahəsi və bataqlıq torpaqlarında da *seziyumun* miqdarı torpağın üst qatında üsünlük təşkil edir (*Малиновский Ю.Ю., Рашидов Н.М., 2002*).

Seziyumun torpağın üst qatında toplanmasını sübut edən təcrübələrdən birini

də Hindistan alimləri aparmışlar. Onlar da bu ölkənin 24 müxtəlif regionundan götürülmüş torpaq nümunələrində *seziumun* torpağın üst qatında miqdarının *kalium-40, uran və torium* izotopları ilə müqayisədə əhəmiyyətli dərəcədə çox olmasını müəyyən edə bilmişlər (*Sadasivan S. etr al., 2003*).

Qeyd edək ki, elmi ədəbiyyatda son illər radionuklidlərin müxtəlif torpaq horizontları üzrə paylanması tədqiqinə dair işlərə, az da olsa, rast gəlmək olur. Aydınır ki, təbii formalaşma prosesi torpağın kifayət qədər heterogen xassəli olmasına səbəb olur və nəticədə torpağın profilləri kimyəvi elementlərin miqdarına görə xeyli fərqlənə bilər (*Enstone D.E., Peterson C.A., 1992; Southworth A., Siccama T.G., 1991*). Bu səbəbdən də bitkilərin kök sistemlərinin ayrı-ayrı hissələri müxtəlif konsentrasiyalı radionuklidlərin təsirinə məruz qalır.

Müxtəlif tədqiqatçıların apardığı tədqiqat işlərinin nəticələri göstərir ki, radionuklidlərin torpağın müxtəlif horizontları üzrə paylanması ayrı-ayrı layların geokimyəvi xüsusiyyətlərindən əhəmiyyətli dərəcədə asılı olmaqla yanaşı, həm də radionuklidin xassəsindən asılı olur. Məsələn, Şimali Qazaxıstanda urançıxarma müəssisəsinin yaxınlığındakı ərazilərdən götürülmüş torpaq nümunələrinin radiometrik analizi göstərdi ki, *0-20 sm* dərinliyə qədər təbii radionuklidlərin miqdarı bir ərazidə fon səviyyəsini aşmadığı halda, digər ərazidə torpağın *0-5 sm* dərinliyində *uran-238* izotopunun miqdarı fonla müqayisədə 7 dəfə, *20 sm* -lik dərinlikdə isə ~ 2 dəfə çox olur. *Torium-232* izotopunun isə torpağın üst qatındakı (*0-5 sm* dərinlikdə) miqdarının təbii fonla müqayisədə 2.6 dəfə çox olması qeydə alınmışdır (*Казымбет П.К. и др., 2006*).

0-50 sm -lik profildə tipik gillə qarışıq küllü torpaqlarda təbii radionuklidlərin paylanmasının tədqiqi fərqli nəticələrin alındığını göstərmişdir. Belə ki, şumluq layda *radium, torium* və *uranın* miqdarı onların təbii miqdarından, uyğun olaraq, *13, 13* və *50* dəfə çox olmuşdur. Həmçinin də müəyyən edilmişdir ki, verilmiş torpaq şəraitində *uran* və *torium* oxşar şaquli paylanma xüsusiyyətlərinə malikdirlər. Daha dəqiq desək, adı çəkilən radionuklidlər *0 - 20* və *20 - 25 sm* -lik laylarda daha çox toplandığı halda, *30 - 35 sm* -lik layda nisbətən az, aşağı laylarda isə cüzi miqdarda mövcud olur (*Рачкова Н.Г. и др., 2006*). Əlavə olaraq, həmin işdə qeyd edilir ki, torpağın *25 sm* -lik üst təbəqəsində əsasən turşuda həllolabilən birləşmələrin tərkibində fiksə olunmuş *torium* və *uran* ehtiyatının *90 %* - i müşahidə olunduğu halda, bu izotopların mobil birləşmələri *0-20 sm* -lik dərinlikdə paylanır .

Müəyyən edilmişdir ki, *toriumun* torpaqda udulmasının əsas mexanizmi fiksə olunmadır və bu proses nəticəsində formalaşan xüsusi aktivliyin ~ *90 %* -i torpaqda olan *kaliumun* mübadiləolunabilən formasından asılı olur. Başqa sözlə desək, *kaliumun* miqdarı artdıqca, torpaq profilində *toriumun* miqdarı da artır. *Toriumun* fiksasiyası isə onun hidrosikomplekslərinin paketlərarası fəzada və qarışıqlaylı mineralların səthində udulması ilə izah edilir (*Matsue N., Wada K., 1988*). Digər bir işdə *toriumun* suda həllolabilən birləşmələrinin hidrosikompleks ionlar formasında olması fərz olunur. Hesab olunur ki, *torium* birləşmələrinin intensiv udulması onların mineral komponentlərdə sorbsiyası ilə təmin olunur (*Пинский Д.Л. , 1997*).

Tamamilə fərqli mənzərə *uran* üçün müşahidə olunmuşdur. Əlavə olaraq, müəyyən edilmişdir ki, torpağın *kaliomla* zənginləşdirilməsi *uranın* udulmasını azaldır. Bu zaman humusun miqdarı çox olduqca, *uranın* udulması intensivləşir (Пунский Д.Л., 1997). Qeyd olunan işdə *uranın* mobilizə olunmasında əsas rolü alüminium birləşmələrinin oynaması və bu radionuklidin suda həllolabilən formalarının alümoqulvat kompleks birləşmələrin tərkibində miqrasiya edə bilməsi aşkar edilmişdir.

Digər təbii radionuklid olan *radiumun* şaquli paylanması onun miqdarının 25 - 30 sm - lik layda daha çox olduğunu göstərmişdir (Гиль Т.В., 1983). Müəllif həmçinin də müəyyən etmişdir ki, *radium* ehtiyatının 90 % - ə qədər torpağın şumluq layında toplanmış olur və bu izotopun suda həllolabilən miqdarı mübadiləolunabilən *kalsium* və *dəmirin* konsentrasiyası ilə sıx əlaqəli olur. Bu faktın əsasında *radiumun* sorbsiya olunmasında *kalsium* - humus və *dəmir* - humus kompleks birləşmələrinin mühüm rol oynadığı fərz edilir.

Belə bir faktı da qeyd etmək yerinə düşərdi. Məlum olduğu kimi, torpaqəmələgətirən amillər singenetik, progenetik və epigenetik kimi qruplara bölünür (Мирошниченко Т.А. и др. 2001). Bu amillərin hər biri bu və ya digər dərəcədə təbii radionuklidlərin torpağın humus layında toplanmasına təsir edə bilər.

Torpaqda radionuklidlərin müxtəlif horizontlar üzrə paylanmasında torpaqəmələgəlmə prosesinin də mühüm rol oynaması müəyyən edilmişdir (Ельчищев Е.А., 2000). Məsələn, ^{40}K , ^{232}Th və ^{226}Ra kimi radionuklidlərin misalında göstərilmişdir ki, onların torpağın yuxarı və aşağı laylarında miqdarının müxtəlif olması məhz torpağın üzvi - qranulometrik tərkibi ilə əlaqədardır (Navas A. et al., 2002). Hesab olunur ki, təbii şəraitdə torpağın özünə məxsus radionuklidlər turşuda həllolabilən vəziyyətdə (fiksə olunmuş vəziyyətdə) transformasiya olunurlar (Рачкова Н.Г., Шуктомова И.И., 2000).

Qeyd edək ki, bir çox təbii radionuklidlərin torpağın xüsusiyyətlərindən asılı olaraq onun müxtəlif profillərində paylanması hərtərəfli Navaş və Soto tərəfindən öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, üç üst torpaq profilində ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th və ^{40}K izotoplarının aktivliyi uyğun olaraq 0-53, 19-33, 7-75, 24-48 və 335-562 Bk/kq həddində olur. Üst layda nisbətən az miqdarda mövcud olan ^{238}U və ^{210}Pb izotoplarının miqdarının aşağı laylarda sürətlə artması, ^{226}Ra və ^{232}Th izotoplarının bütün laylarda təxminən eyni miqdarda paylanması, ^{40}K izotopunun isə yuxarı layda az, aşağı laylarda isə bərabər paylanması qeydə alınmışdır. Müəlliflərin fikrincə, torpağın müxtəlif radionuklidlərə görə aktivliyindəki fərqlər karbonat və üzvi maddələrin miqdarı ilə və ya qranulometrik tərkiblə əlaqədar olmuşdur (Navas A. et al., 2002).

Aydındır ki, ^{238}U , ^{232}Th və ^{226}Ra kimi izotopların həm torpağın özündə, onun ana süxurunda çox miqdarda olması, həm də torpağa müxtəlif texnoloji proseslər nəticəsində (məsələn, faydalı qazıntı yataqlarının işlənilib hazırlanması, kömürlə işləyən istilik elektrik stansiyalarının istismarı və s.) daxil olması təbii biogeosenozlarda onların müxtəlif formalarını yaratmalı və bununla da müxtəlif bioloji və fizioloji proseslərin başlanmasına zəmin yaratmalıdır (Шуктомова И.И., Симонов Г.А., 1987).

Qablin (*Габлин В.А., 2002*) bunu nəzərə alaraq, 12 əsas torpaqəmələgətirən minerallarda *uran*, *torium* və *kaliyum-40* izotoplarının miqdarını müəyyənləşdirməklə, adı çəkilən radionuklidlərin ekoloji mühitdə mövcudolma formalarını öyrənmişdir. Müəllif radioaktiv elementin miqdarı ilə torpağın mineral tərkibi arasında müəyyən asılılığın mövcudluğunu aşkar edə bilmişdir. Bu asılılığa əsasən də o, radioaktiv elementin konsentrasiyasını müəyyənləşdirməklə, torpağın mineral tərkibi haqqında müəyyən bir fikir söyləyə bilmişdir. Daha dəqiq desək, radioaktiv elementin konsentrasiyası əsasında adı çəkilən radionuklidlərin ekoloji mühitdə mövcudolma formaları və torpağın mineral tərkibi haqqında məlumat əldə edilə bilməsinin mümkünlüyü fikrinə gəlmişdir.

Torpağın kimyəvi tərkibi ilə radionuklidlərin şaquli paylanması arasında üzvi əlaqənin olması bir çox tədqiqat işlərində də müəyyən edilmişdir (*Шуктимова И.И., 2003; Lubyte Jadvyga, Antanaitis Antanas, 2004; Morton L.S. et al., 2001; Ugur A. et al., 2004*). Məsələn, göstərilmişdir ki:

- torpaqəmələgəlmə prosesində *uran* üzvi maddələrdə, *torium* isə qeyri-üzvi oksidlərdə toplanı bilər (*Morton L.S. et al., 2001*);
- digər torpaqlarla müqayisədə torflu torpaqların radioaktivliyi adətən 2-5 dəfə çox olur (*Lubyte Jadvyga, Antanaitis Antanas, 2004*);
- *torium* izotopu orqanogen və mineral horizontlarda daha çox paylanı bilər (*Шуктимова И.И., 2003*);
- *uran*, *torium* və *toriumun* suda həllolabilən formaları təbii şəraitdə torpaqda uzun müddət qaldıqda turşuda həllolabilən (fiksəolunabilən) formaya transformasiya edə bilər (*Панфиоров В.И. и др., 1995*) və s.

Digər bir fikir də diqqətə layiqdir. Aydınır ki, torpağa düşən radioaktiv maddə müəyyən qədər yuyularaq lay sularına daxil ola bilər. Bu fikrin tamamilə ziddinə olaraq, bir qrup tədqiqatçılar hesab edirlər ki, torpaq ona daxil olan radionuklidi özündə tutub saxlamaq qabiliyyətinə malik deyil. Bu fikrin tərəfdarları arqument olaraq, Çernobil AES - də baş verən qəzadan 25 il –dən çox vaxt keçməsinə baxmayaraq, 50 sm dərinliyə qədər miqrasiya edən radionuklidlərin 95-99 % -nin torpağın 0-20 sm –ə bərabər üst qatında toplanıb qalması faktını əsas götürürlər (*Коновова Г.А., Ляпкало А.А., 2003; Бондарьков М. и др., 2006*).

Qeyd edək ki, bu cür kiçik miqrasiya sürəti yalnız meşə torpaqları üçün xarakterikdir. İşlənən kənd təsərrüfatı torpaqlarında bu sürət 15 dəfədən də çox ola bilər (*Коновова Г.А., Ляпкало А.А., 2003*).

Radionuklidlərin meşə torpaqlarında bitkilərin kök sistemlərinin yerləşdiyi layda toplanması, aydındır ki, bitkilərin uzun müddətli çirklənməsinə zəmin yaratmalıdır. Daha dəqiq desək, müxtəlif üsullarla işlənmiş kənd təsərrüfatı torpaqları ilə müqayisədə radionuklidlərin zəif miqrasiyası ilə xarakterizə olunan meşə torpaqları meşə bitkilərinin uzun müddətli çirklənməsini təmin edən mənbə rolunu oynayır (*Коновова Г.А., Ляпкало А.А., 2003; Трунов М.И., 2002; Al Hamarneh I. et al., 2003*).

Torpaqəmələgətirən süxurların radionuklidlərin torpağın üst humus layında toplanmasına əhəmiyyətli dərəcədə təsir etməsini sübut edən faktorlardan biri də

uranın miqdarının gilli şist (lay - lay quruluşlu süxur) əsasında formalaşmış dağ - çəmən torpağında əhəngdaşı əsaslı dağ - çəmən torpağı ilə müqayisədə təxminən 2 dəfə çox olmasıdır (*Мирошниченко Т.А. и др. 2001*).

Ümumiyyətlə götürükdə, torpaqəmələgətirən süxurların humus layında uranın toplanmasına təsirini belə bir sıra ilə düzmək olar:

əhəngdaşı < kristallik şist < qumsal < mərmər < gilli şist .

Torium üçün isə bu sıra aşağıdakı kimidir:

əhəngdaşı < qumsal < mərmər < gilli şist < kristallik şist .

Torpağın profilləri üzrə radionuklidlərin şaquli paylanmasını təhlil etsək görərik ki, radionuklidlərin şaquli daşınma intensivliyi torpaq örtüyünün xüsusiyyətlərindən başqa, konkret kimyəvi element izotopu olan radionuklidlərin xassəsindən də əhəmiyyətli dərəcədə asılı olur.

Qeyd edək ki, su rejimindən asılı olaraq, radionuklidlərin torpaq horizontları üzrə həm eksponensial, həm də maksimumu olan əyri üzrə paylanmaları müşahidə olunmuşdur (*Бондарьков М. и др., 2006*).

Məlumdur ki, "bərk minerallar - duz məhlulları" sərhəddində müxtəlif fiziki-kimyəvi reaksiyalar və bioloji proseslər baş verir ki, həmin proseslərdə də torpaq məhlulunun həm kation, anion, həm də neytral radionuklidləri iştirak edir. Radionuklidlərin onların stabil izotopları ilə müqayisəsi birincilərin torpaqda daha yüksək yüyürüklüyə malik olduğunu göstərmişdir (*Ефремов А.Л., 2001*). Çox yəqin ki, radionuklidlərin yüksək yüyürüklüyü onların həllolabilən, mübadiləolunabilən və hərəkətli formada daha çox olmaları ilə əlaqədardır. Həmçinin də, məlum olduğu kimi, üzvi - mineral humus maddələri torpağın mineral hissəsinin komponentləri ilə heteropolyar duzlar, kompleks - heteropolyar duzlar və adsorbsiya kompleksləri yaradır ki, bunların da həm birvalentli, həm də ikivalentli kationlarla birləşmələri suda yaxşı həllola bildiklərindən turşu, neytral və zəif qələvi reaksiyalar şəraitində yüksək yüyürüklüyə malik olurlar (*Салаев. М. Э., 1991*).

Məlum olduğu kimi, radionuklidlərin əksər hissəsi torpaq məhlullarında spesifik üzvi maddələrlə (qumin - və fulvo - turşu fraksiyaları), humusəmələgəlmənin ilkin mərhələsinin məhsulları ilə, fərdi üzvi birləşmələrlə kompleks şəkildə mövcud olur. Radionuklidlər həmçinin, qismən də olsa, mikrob metabolitləri (şəkər, amin-, alifatik-, fenol turşuları, polinukleotidler, polifosfatlar, həllolabilən karbohidratlar, vitaminlər, antibiotiklər və s.) ilə kompleks əmələ gətirirlər (*Ефремов А.Л., 2001*). Radionuklidlər müxtəlif polyar qütblərə malik olduqlarından təkcə torpağın üzvi - mineral kompleksləri ilə sorbsiya olunurlar. Onlar həm də bakteriya hüceyrələrinə və toxumalara daxil ola bilirlər (*Ефремов А.Л., 2001*).

Müəyyən edilmişdir ki, radionuklidlərin torpaqda miqrasiyasına fəsil ərzində nəmlik rejiminin dəyişməsi, həmçinin də donma və donun açılması prosesləri və bunlarla bağlı pedoturbasiya prosesi təsir edə bilər. Bu torpaqlarda metal ionları ilə xelat əmələ gətirmək qabiliyyətinə malik spesifik və qeyri - spesifik üzvi birləşmələrin az miqdarda belə olması radionuklidlərin diffuzion yerdəyişməsinin təkcə ion formasında yox, həm də mürəkkəb üzvi molekulların tərkibində baş verə bilməsini

mümkün edir (Савин В.Н.,1981).

Aydındır ki, radionuklidlərin torpaqlarda paylanması öyrənilməsi həm də onların müxtəlif kənd təsərrüfatı bitkilərinə keçmə yollarının araşdırılmasına xidmət edir. Çox yəqin ki, radionuklidlərin torpaqdan bitkilərə keçmə sürətinin azaldılması yollarından biri də radionuklidlərin torpaqda fiksə olunma dərəcəsini artırma ilə əlaqəli üsullardan istifadə edilməsidir. Dediklərimizdən aydın olur ki, buna torpağın xüsusiyyətlərini dəyişdirməklə nail olmaq olar. Aydındır ki, torpaq məhlulu bitkilərin kök sistemləri vasitəsilə həm qida, həm də toksiki maddələrin akkumulyasiya edilməsi prosesində əsas rol oynayır. Müəyyən edilmişdir ki, əksər torflu torpaqlarda *plutonium* və *amerisium* radioizotoplarının yüyürüklüyü humusu az olan mineral torpaqlarla müqayisədə çox kiçik olur. Bu fakt torflu torpaqlarda adı çəkilən radionuklidlərin fazlararası paylanma əmsallarının mineral torpaqlarda uyğun paylanma əmsallarından bir tərtib yüksək olmasında özünü göstərir (Соколик Г.А. и др., 2001). Bu səbəbdən də, qumsal torpaqlara az miqdarda (10:1-10:3 nisbətində) mobil üzvi komponentlərə malik torflu torpağın əlavə olunması paylanma əmsallarının 2-4 dəfə artmasına səbəb olur (Соколик Г.А. и др., 2001). Bu zaman, çox yəqin ki, radionuklidlərin yüyürüklüyünün azalması onların həm az həllolabilən üzvi, həm də üzvi - mineral komplekslər əmələ gətirməsi hesabına baş verir. Bu da, son nəticədə ərazidə yetişən bitkilərin daha az «çirklənməsinə» səbəb olur.

Qeyd edək ki, bu xarakterli işlərə elmi ədəbiyyatda, az da olsa, təsadüf edilir. Məsələn, Sıbulka və başq.-nın işlərində göstərilir ki, ¹³⁷Cs izotopunun horizontal miqrasiyasının kəmiyyət göstəriciləri torpağın üst səthinin radioaktiv çirklənmə sıxlığından asılı olur. Sıxlıq çox olduqca, radionuklidlərin yayıldığı ərazilər də böyük olur. Bu zaman onların yayılma sürətinə su axınları əhəmiyyətli dərəcədə təsir edə bilər (Цыбулька Н.Н. и др.,2004).

Digər bir işdə ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K kimi təbii və ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs kimi süni radionuklidlərin torpaqda profillər üzrə paylanması ilə yanaşı, həm də onların fəza paylanması öyrənilmişdir. Torpaq örtüyündə və torpaq profillərində radionuklidlərin paylanmasının öyrənilməsi göstərmişdir ki, torpağın qranulometrik tərkibindən, humusun miqdarından və pH - dan asılı olaraq, paylanma mürəkkəb xarakter daşıyır. Müəllifin gəldiyi əsas fikir ondan ibarət olmuşdur ki, radionuklidlərin torpaq profilləri üzrə paylanması torpaqəmələgəlmə prosesinə tabe olur (Ельчищев Е.А., 2000).

Dediklərimizdən aydın olur ki, radionuklidlərin torpaqda paylanması ilk növbədə torpağın mineral tərkibi ilə müəyyən olunur. Bunu əsas götürərək torpağın mineral tərkibi haqqında olan məlumatlar torpağın radiasiya parametrlərini təyin etmək üçün perspektivlər açıq (Габлин В.А., 2002).

9.2. Radionuklidlərin bitkilərə və onların ayrı-ayrı orqanlarına keçmə xüsusiyyətləri.

Heç kəsə sirr deyil ki, bu gün texnogen proseslər kənd təsərrüfatı üçün yararlı olan torpaq sahələri də daxil olmaqla, böyük ərazilərin radioaktiv çirklənməyə məruz

qalmasına səbəb olmuşdur. Bu səbəbdən də, həm ərazini çirkləndirən, həm də təbiətdə (əsasən də, litosferdə) mövcud olan radionuklidlərin, az miqdarda da olsa, bitki və heyvanat aləmində öz əksini tapması tamamilə yolveriləndir.

Məlum olduğu kimi, şərti olaraq iki qrupa bölünən radionuklidlərin birinci qrupuna maddələr mübadiləsində fəal iştirak etməklə, canlı materiyanın ayrı-ayrı orqanlarının fəaliyyətini təmin edən *kalium*, *karbon*, *hidrogen* kimi stabil elementlərin radioaktiv izotopları aid edilir. Radioaktiv şüalanma yaratması baxımından birinci qrup elementlər arasında ^{40}K izotopu əsas yer tutur ki, bunun da bitki nümunələrində miqdarı Yer qabığındakı miqdarı ilə müqayisədə, adətən, 3-10 dəfə az olur (*Круллов В.Ф. и др., 1988*).

Aydındır ki, radioaktiv izotopların müxtəlif orqanizmlərdə miqdarı onlarda həmin elementin stabil izotoplarının toplanma dərəcəsindən də asılı olmalıdır. Doğrudan da, müəyyən edilmişdir ki, noxudda *kaliumun* miqdarının 0.9%, kərə yağında isə 0.014% olmasına baxmayaraq, ^{40}K izotopuna görə noxudun xüsusi radioaktivliyi 274 Bk/kq, kərə yağının ki isə 3.7 Bk/kq -a bərabər olur (*Круллов В.Ф. и др., 1988*).

^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{210}Pb , ^{210}Po kimi ağır radioizotopların daxil olduğu ikinci qrup elementlər isə radioaktivlik mənbəyi olmaqla yanaşı, həm də yüksək toksiki xassəli birləşmələrin yaranmasında fəal iştirak edən elementlərdir (*Москалев Ю.В., 1989*). Bu radionuklidlərin bioloji obyektlərə genetik təsirlərinə görə ^{238}U , ^{232}Th və ^{226}Ra izotopları və onların parçalanma məhsulları daha az öyrənilmişdir. Ayrı - ayrı tədqiqat işlərinin nəticələri göstərir ki, adı çəkilən radioizotopların bitkilərdə miqdarı onların ətraf mühitdə konsentrasiyasından asılı olur. Məsələn, adi torpaqlarda yetişən bitkilərin külündə *uranın* miqdarı orta hesabla $3 \cdot 10^{-4}$ q/kq həddində olduğu halda, *uranla* zəngin torpaqlardan götürülmüş bitki nümunələrində onun miqdarı $2 \cdot 10^{-3}$ q/kq qədər olur (*Круллов В.Ф. и др., 1988*).

Aparılmış çoxlu sayda tədqiqat işlərinin nəticələrinin təhlili göstərir ki, eyni bir çirklənmə səviyyəsində belə həm radionuklidlərin ərazidə yetişən müxtəlif bitkilərdə miqdarı çox geniş intervalda dəyişə bilər, həm də belə ərazidə radionuklidlərin qeyri - bərabər paylanması hesabına hər hansı bir bitkidə eyni radionuklidin miqdarı müxtəlif ola bilər (*Пронин А.Н. и др., 2005*). Bu zaman ayrı-ayrı izotopların miqdarı ilə bitkinin növ mənsubiyyəti arasında müəyyən bir asılılıq tapmaq cəhdləri heç bir nəticə verməmişdir. Buna səbəb eyni növdən olan bitkilərdə verilmiş radionuklidin miqdarının çirklənmə səviyyəsindən asılı olaraq, dəfələrlə fərqlənməsi olmuşdur.

Qeyd edək ki, bu istiqamətdə aparılan tədqiqat işlərində tədqiqatçılar əsasən radionuklidlərin torpaqdan bitkilərə keçmə əmsallarının təyini ilə kifayətlənirlər (*Булгаков А.А. и др., 2001; Кнатько В.А. и др., 1999; Коноплев А.В., Коноплева И.В., 1999; Соколик А.И. и др., 1999*). Bundan başqa, onlar vacib fizioloji ionlara daha çox əhəmiyyət verərək, təbii radionuklidlərin mövcudluğunu yaddan çıxarırlar.

Tədqiqatçıların vacib fizioloji ionlara daha çox diqqət verməsinin əsas səbəbi Çernobil AES - də baş verən məlum qəza olmuşdur. Məlum olduğu kimi, bu qəza nəticəsində Ukrayna, Belarusiya, Rusiya və bir çox Avropa ölkələrinin əraziləri insan

orqanizmində *kaliium* və *kalsiumla* rəqabət apara bilən və onları asan əvəz edə bilən *seziium-137*, *stronsium-90* radioizotopları ilə çirklənmişdir. Nəzərə alsaq ki, bu cür qəzalardan da əvvəl insanın əməli fəaliyyəti müxtəlif ərazilərdə texnogen mənşəli lokal çirklənmə zonalarının yaranmasına səbəb olmuşdur və bu zonalar insan həyatı üçün real təhlükə mənbəyidir, onda təbii radionuklidlərin öyrənilməsinə də böyük zərurətin olması aydın olur.

Müxtəlif bitkilərdə radionuklidlərin toplanmasına dair tədqiqat işlərinin nəticələrindən aydın olur ki, ağac bitkilərinin radionuklidlərlə çirklənmə səviyyəsi, adətən, kök sistemləri torpağın daha çox çirklənmiş üst təbəqəsində yerləşən ot bitkiləri ilə müqayisədə aşağı olur (*Чулумов А.И., Богачев А.В., 2000*). Həmçinin də, bir qayda olaraq, ot bitkilərinin müxtəlif radionuklidlərlə çirklənmə aktivliyi ağac bitkilərinin hətta radionuklidləri özündə ən çox toplaya bilən orqanındakı aktivliyindən də yüksək olur (*Цветнова О.Б., Щеглов А.И., 1999*). İstinad etdiyimiz işdə ¹³⁷Cs izotopu misalında göstərilir ki, ot bitkilərində radionuklidlərin miqdarının növlərəarası variyasiyası da ağac bitkiləri ilə müqayisədə yüksək olur.

Ağac bitkilərində həm də, onun növündən asılı olmayaraq, toplanmış radionuklidlərin miqdarı çox az fərqlənir (*Спирун Е.В. и др., 2006*). Müəlliflər bunu nəzərə alaraq, əsas diqqətin ot - kol bitkilərinə ayrılmasını məqsədamüvafiq hesab edirlər. Belə diqqət həm də ona görə lazımdır ki, ot - kol bitkiləri insanın "*bitki - heyvan yemi – insan orqanizmi*" və "*giləmeyvə - insan orqanizmi*", "*dərman bitkiləri – insan orqanizmi*" qida zəncirlərinin əsas həlqəsini təşkil edir .

Radionuklidlərin bitkilərə keçmə qanunauyğunluqlarının öyrənilməsinə həsr olunmuş tədqiqat işlərinin nəticələri radionuklidlərin müxtəlif növ bitkilər, o cümlədən də ağac bitkiləri tərəfindən mənimsənilməsinin torpağın xassəsindən əhəmiyyətli dərəcədə asılı olmasını göstərir (*Аверин В.С. и др., 2002; Отаров А., 2003*). Qeyd olunur ki, radionuklidlərin torpaqdan ağac bitkiləri vasitəsilə mənimsənilməsi prosesi mürəkkəb proses olub, torpağın xüsusiyyətlərindən başqa, həm də bitkinin hansı növə, cinsə və sorta aid olmasından asılı olur. Məsələn, Kışım qəzası nəticəsində yaranmış *Şərqi Ural Rarioaktiv İzin* (Rusiyanın Çelyabinsk vilayətinin şimal, Sverdlov vilayətinin cənub hissələri) ərazisində yetişən küknar, şam ağaclarının müxtəlif orqan və toxumalarında ⁹⁰Sr və ¹³⁷Cs izotoplarının paylanması tədqiqinə həsr olunmuş işdə göstərilir ki, həm ayrı - ayrı növlər, həm də eyni bir növün struktur komponentləri üzrə ⁹⁰Sr izotopunun miqdar göstəriciləri arasında xətti asılılıq mövcuddur (*Коровин В.В. и др., 2000*).

¹³⁷Cs izotopunun çirklənmiş torpaqdan ağac bitkilərinə keçmə və onun bitkilərin ayrı-ayrı orqanları arasında paylanması tədqiqinə dair işlərin nəticələri isə nümunələrdə *seziiumun* xüsusi aktivliyinin torpağın çirklənmə dərəcəsi ilə düz mütənasib olmasını müəyyən etməyə imkan vermişdir (*Чулумов А.И., Богачев А.В., 2000*).

Texnogen radionuklidlərin su bitkilərində toplanmasını bitkilərin ayrı-ayrı orqanları əsasında öyrənən müəlliflər tədqiq olunan bitkilərin yarpaqlarının, ⁴⁰K izotopu istisna olmaqla, əksər radionuklidləri gövdəyə nisbətən daha intensiv

toplamasını müəyyən edə bilmişlər (*Матушов Д.Г., Матушов Г.Г., 2001; Болсуновский А.Я. и др., 2002*).

Həm texnogen ^{137}Cs , həm də təbii ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K izotoplarının konsentrasiyasının şam ağacının ətrafındakı torpaqlarda və ağacın özündə təyin olunması isə göstərmişdir ki, radionuklidlərin miqdarı ağacın iynə və qabığına oduncağa nisbətən bir tərtib çox olur (*Morton L.S. et al., 2002*). İşdə həmçinin də qeyd edilir ki, radionuklidlərin içərisində *toriumun* daşınmasının daha effektiv olmasına baxmayaraq, 15-20 sm torpaq qatında kənararıxma müşahidə olunur. Başqa sözlə desək, torpağın üst qatında *seziyumun* daşınması daha intensiv olur.

Barkus və başq.-nın tədqiqat işlərinin nəticələri "torpaq - bitki" sistemində *toriumun urana* nisbətən daha intensiv daşınmasını göstərir. Qeyd edilir ki, *uran* bitkinin orqanları üzrə təxminən bərabər paylandığı halda, *torium* əsasən bitki yarpaqlarında toplanır və *toriuma* nisbətən *uranın* bitkilər tərəfindən mənimsənilməsi torpağın xüsusiyyətlərinə daha çox həssas olur (*Butkus D. et al., 2002*).

Bir sıra tədqiqatçılar ot bitkilərini radionuklidləri toplamaq qabiliyyətinə görə sistematik qruplara bölməyə cəhdlər etmişlər. Aydın olmuşdur ki, meşənin tipindən, radionuklidlərin xüsusiyyətindən və onların bitkilərə keçmə formasından asılı olaraq, alınmış nəticələr kəskin fərqlənir. Alınmış nəticələrə vegetasiya dövrü və çoxillik dinamika da yüksək dərəcədə təsir edə bilər (*Панфиоров В.И. и др., 1995*).

Bir neçə yerlərdə sortunda radionuklidlərin toplanmasını tədqiq edən müəlliflər də kökümeyvələrdə radionuklidlərin bitkilər tərəfindən mənimsənilməsinin vegetasiya periodu ilə sıx əlaqədar olmasını müəyyən edə bilmişlər (*Крук А.В. и др., 2004*).

Qida məhsullarına ərazini çirkləndirən radionuklidlərin keçməsinin qarşısını almaq, aydındır ki, radioaktiv şüalanmanın insan orqanizminə zərərli təsirini azaltmağa xidmət edir. Bu prosesdə bitkilərin rolunun danılmaz olmasına heç bir şübhə yoxdur. Qeyd edək ki, digər ot bitkilərindən fərqli olaraq, dərman bitkilərinin və qida kimi istifadə olunan müxtəlif göbələklərin tərkibindəki radionuklidlər insan orqanizminə maneəsiz keçməklə, yüksək intensivlikli daxili şüalanma yaratmağa qadirdir (*Булгаков А.А. и др., 2000; Булгаков А.А. и др., 2001; Федоров В.Н., Елиашевич Н.В., 2000*). Bu səbəbdən də, adı çəkilən bitkilərdə radionuklidlərin toplanma qanunauyğunluqlarının öyrənilməsi heç zaman öz aktuallığını itirmir.

Müxtəlif növ silahlarının sınaqdan keçirilməsi, AES -lərdə baş verən qəzalar, radiokimyəvi və nüvə sənayesinin çoxillik fəaliyyəti və s. ətraf mühitə yüksək aktivlikli texnogen radionuklidlərin səpələnməsinə səbəb olmuşdur ki, bu da, quruda və suda yaşayan canlılar üçün bu gün real təhlükə mənbəyinə çevrilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, su hövzələrinə radionuklidlərin düşməsi onların su orqanizmlərində aktiv akkumilyasiya olunmasına səbəb olur (*Матушов Д.Г., Матушов Г.Г., 2001*). Məsələn, Yenisey çayının radioekoloji vəziyyətinin öyrənilməsi çay bitkiləri tərəfindən *plutonium* və *amerisium-241* izotoplarının daha aktiv toplanmasını göstərir (*Болсуновский А.Я., Зотина Т.А., 2002*).

Məlumdur ki, radionuklidlər, digər minerallar kimi, torpaqdan bitkiyə ion formasında keçir və onların bitki hüceyrələrinə daxilolabilməsinin selektiv (*kalium* kanalları) və qeyri-selektiv (membrandan ion sızması) yolları mümkündür. Bu proseslər müəyyən dərəcədə apoplastın (kation mübadiləsi baş verən hüceyrə divarının) nəzarəti altında olur. Mineral qidalanma şəraiti isə ontogenezdə formalaşma prosesində ion nəqli sisteminə təsir edərək, radionuklidlərin bitki tərəfindən mənimsənilməsinə təsir edir.

Nəzərə alsaq ki, radionuklidlərin insan orqanizminə təsirinin azaldılması yollarından ən vacibi onların qida məhsulları vasitəsilə orqanizmə daxil ola bilməsinin qarşısının alınmasıdır, onda bitkilərdə radionuklidlərin toplanma və dəyişmə dinamikasına dair aparılan tədqiqat işlərinin bu gün də aktual olmasına heç bir şübhə qalmaz. Əlavə olaraq, atom - nüvə silahlarının intensiv sınağı, nüvə enerjisi istehsalı ilə məşğul olan müxtəlif müəssisələrdə və AES -lərdə baş verən qəzalar, çoxlu sayda elektron sürətləndiricilərindən, plazmatronlardan, sinxrofazonlardan və s. geniş istifadə radionuklidlərin qlobal atmosfer köçürmələri vasitəsilə Yer kürəsinin hər tərəfinə yayılmasına və torpağa çökərək trofiki zəncirin ilk həlqəsi olan «*torpaq-bitki*» həlqəsinə daxil olmasına səbəb olmuşdur.

Bu baxımdan, bitkilərin, onların ayrı-ayrı orqanlarının müxtəlif radionuklidlərə həssaslığının araşdırılmasına, bitkilərin radionuklidləri özündə toplama qabiliyyətinə təsir edən amillərin müəyyənləşdirilməsinə böyük ehtiyac vardır. Aydındır ki, bu problemlərin uğurlu həlli yalnız radionuklidlərin torpaqdan bitkiyə keçmə mexanizmlərinin aydınlaşdırılması əsasında mümkündür. Bu məsələlərin həlli həmçinin də radionuklidlərin bitkilərin ayrı-ayrı orqanlarında toplanma sürətinin azaldılması yollarının müəyyənləşdirilməsinə imkan verəcəkdir.

Qeyd edək ki, bitkilərin kök sistemlərinin yerləşdiyi layda torpağın kimyəvi tərkibi radionuklidlərin bitkilərdə toplanmasında müstəsna rola malikdir. Məsələn, müəyyən edilmişdir ki, yüngül qranulometrik tərkibə və az miqdarda lilli fraksiyaya malik torpaqlar ^{137}Cs və ^{90}Sr radioizotoplarını fiksə edə bilmir (özündə saxlaya bilmir). Nəticədə radionuklidlər torpaqdan bitkilərə daha asan miqrasiya edərək, «*heyvan yemi - heyvandarlıq məhsulları - insan orqanizmi*» zəncirinə daxil olurlar (Столяров Г.В., 2002).

Torpağın əsas mexaniki struktur parametri olan humusluq dərəcəsinin dəyişməsinin də radionuklidlərin bitkilərdə toplanmasını dəyişdirə bilməsinə dair kifayət qədər məlumatlar məlumdur. Müəyyən edilmişdir ki, torpağın humusluluğunun 1.4 % -dən 1.9 % -ə qədər artırılması ^{137}Cs izotopunun çiyələkdə miqdarını 49 Bk/kq -dan 27-29 Bk/kq -a qədər azalda bilir (Моуссеевко Ф.В. и др., 2004). Torpaq humusunun miqdarı və keyfiyyət tərkibi *plutonium*, *amerisium*, *seziium* və *stronsium* izotoplarının sorbsiyasına da əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərə bilir (Малиновский Ю.Ю., Рашидов Н.М., 2002; Соколик Г.А. и др., 2003).

Göstərilir ki, bəzi fizioloji aktiv mikroelementlər də radionuklidlərin torpaqdan bitkilərə keçməməsinə, həmçinin də kəskin və xroniki şüalanma şəraitində bitkilərin dayanıqlılığının artmasına şərait yaradır (Гудков И.Н. и др., 1999). Konkret olaraq,

müəyyən edilmişdir ki, radioblokator, radioprotektor təsirlərə malik *Zn*, *Mn*, *Co* kimi elementlərin birləşmələrinin sulu məhlulları radionuklidlərlə yüksək dərəcədə çirklənmiş ərazilərdə ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs izotoplarının kök sistemləri vasitəsilə bitki orqanlarına keçməsinə mane olur (Гудков И.Н., Груща В.В., 2004).

Radionuklidlərin torpaqdan bitkilərə keçməsində kaliumun da rolu böyükdür. Müəyyən edilmişdir ki, torpaqda *kalium* elementinin az miqdarda olması onunla «rəqabətəgirəbilən» *sezium* və *stronsiumun* bitkilərə keçməsinə asanlaşdırır (Калиниченко С.А., 2002; Столяров Г.В., 2002). Yüksək yüyürlüyə malik *kaliumun* mühitdə miqdarının artması (*kalium* terapiyası) isə *radioseziumun* toplanmasını azaltmağa imkan verir və s. (Соколик А.И. и др., 1999; Витковская С.Е. и др., 1997; Кнатько В.А. и др., 1999). Deməli, torpaqda radionuklidlərlə rəqabət apara bilən mikroelementlərin olması onların bitkilərə keçmə sürətini azalda bilər. Ümumiyyətlə götürdükdə, torpağa - əsas xarakteristikası torpaq məhlulunun reaksiyası (*pH* -i), udulma həcmi, üzvi maddələrin miqdarı olan üç fazalı mürəkkəb sistem kimi baxmaq lazımdır və radionuklidlərin torpaqdan bitkilərə keçməsində bu parametrlərdən hər birinin rolu əvəzsizdir.

Həmçinin də göstərilir ki, əsas funksiyası fizioloji-biokimyəvi prosesləri tənzimləmək olan *Aqat-25*, *Krezasin*, *Mival* və s. kimi preparatlar da radioaktiv çirklənmə şəraitində əkilmiş kənd təsərrüfatı bitkilərində ¹³⁷Cs izotopunun toplanmasını azaldır (Филупас А.С. и др., 1999) və konkret bir dozada fosforitin torpağa verilməsi buğda, çovdar və acı paxla kimi kənd təsərrüfatı bitkilərinin toxumlarında radionuklidlərin toplanmasına imkan vermir (Малцев В.Ф. и др., 1999).

Bir çox tədqiqatçıların fikrincə, kompleks aqrokimyəvi tədbirlər aparmaqla, radiasiya təhlükəsi riskini azaltmaq mümkündür. Antiradiasiya baryeri yaradan kompleks aqrokimyəvi və aqrotexniki tədbirlərin tətbiqi radionuklidlərin torpaqdan bitkilərə keçməsinə məhdudlaşdırmaqla yanaşı, bitkilərin radionuklidlərlə çirklənməsini idarə etməyə imkan verə bilər (Воробьев Г.Т. и др., 2004).

Dediklərimizdən aydın olur ki, torpağın radioaktiv çirklənməsi ilə əlaqədar olaraq, bitkilərdə radionuklidlərin toplanmasının qarşısının alınması yollarının axtarılması bu gün həlli vacib olan məsələlərdəndir. Bu problemin uğurlu və az məsrəfli həlli isə radionuklidlərin ətraf mühitdən bitkilərə, daha dəqiq desək, bitkinin ayrı-ayrı toxuma və orqanlarına keçmə mexanizmlərinin aydınlaşdırılması zamanı mümkündür. Müəyyən edilmiş mexanizmin adekvat təqdimatı, aydındır ki, bitkilərin böyümə və inkişafında heç bir "pozulma" yaratmadan radionuklidlərin toplanmasını azaltmağa, həmçinin də uyğun aqromeliorativ tədbirlərin həyata keçirilməsinə imkan verə bilər (Фурсакова С.К. и др., 2002).

Burada mühüm bir faktı da qeyd etmək yerinə düşərdi. Belə ki, radionuklidlərin «*torpaq - heyvan yemi - heyvandarlıq məhsulları*» üzrə miqrasiya əmsallarına dair məlumatlar bazasının yaradılması ətraf mühitin radioaktiv çirklənməsi şəraitində əhalinin radiasiya təhlükəsizliyi sahəsində vacib qərarların qəbul olunmasında mühüm əhəmiyyət kəsb edə bilər.

Aydındır ki, qeyd olunan qida zəncirində radionuklidlərin miqrasiya əmsalı yalnız «torpaq – heyvan yemi» həlqəsində torpağın xüsusiyyətlərindən asılı olaraq, müxtəlif ola bilər (Юдинцева Е.В., Гулякин И.В., 1968). Ona görə də radionuklidlərin bitkilərdə toplanmasının onların torpaqda miqdarından, hansı dərinlikdə və hansı formada olmasından, miqrasiya xüsusiyyətlərindən asılı olmasına dair məlumatların toplanmasına da ehtiyac vardır (Агапкина Г.И., 2002; Фесенко С.В. и др., 2002).

Qeyd edək ki, təbii radionuklidlərin ətraf mühitə daxilolma yollarından biri də neft-qaz istehsalı və emalı ilə bağlıdır (Кирюзина Н.Н., Шахиджанов Ю.С., 2003; Крапивский Е.И., 2004; Романюк С.С. и др., 2002; Dzhafarov E. S. et al., 2002; Dzhafarov E. S. et al., 2005; Jafarov E.S., 2003).

Məlumdur ki, radiobioloji tədqiqatlar əksər hallarda strotosferdən radionuklidlərin çox da böyük olmayan global çöküntüləri nəticəsində çirklənmiş ərazilərdə aparılır. Nadir hallarda isə bu cür tədqiqat işləri üçün xüsusi təcrübə sahələri və ya radioaktiv sənaye tullantıları ilə çirklənmiş ərazilər seçilir.

Radioaktiv sənaye tullantıları ilə çirklənmiş ərazilərdən birində aparılan monitorinq işlərinin nəticələri göstərir ki, Abşeron yarımadasının ayrı - ayrı yerlərində neft istehsalı ilə əlaqədar 50-1500 mkR/saat ekspozisiya dozası gücünə malik lokal çirklənmə zonaları yaranmışdır (Cəfərov E.S. və başq., 2005) və həmin əraziləri çirkləndirən radionuklidlər əsasən ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K izotoplarıdır (Оруджева Дж.Р., Джафаров Э.С., 2007).

Radioaktiv çirklənmənin təbii ekosistemlərdə törədə biləcəyi təsirlərin qiymətləndirilməsi baxımından Abşeron yarımadası üçün xarakterik olan boz-qonur torpaqların öyrənilməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Belə ki, yüngül gillicə və əsasən də qumsal tərkibə malik olan bu torpaqlar radionuklidlərin paylanması və miqrasiyasını müəyyən edən bəzi xüsusiyyətlərə malik olur. Torflu torpaqlardan fərqli olaraq, qumsal torpaqlar daha az sıxlığa malik olurlar ki, bu da həmin torpaqlarda radionuklidlərin həm üfüqi, həm də şaquli miqrasiyasının sürətini artırır.

Ərazini çirkləndirən radionuklidlərin bitkilərdə toplanma dərəcəsinin izotopların torpaqda şaquli və üfüqi miqrasiya xüsusiyyətlərindən əhəmiyyətli dərəcədə asılı olduğunu nəzərə alsaq, bu istiqamətdə aparılan tədqiqat işlərinin xüsusi əhəmiyyət kəsb etməsi aydın olur.

Deyilənlər əsas götürülərək, təcrübə sahəsi kimi seçilmiş Romani yod zavodunun istehsalat ərazini çirkləndirən təbii radionuklidlərin «kötür - torpaq - bitki» zənciri üzrə miqrasiyası öyrənilmiş, onların həm ətraf mühitdən ərazidə formalaşan yabanı bitkilərə keçmə mexanizmlərini aydınlaşdırılmış, həm də bitkilərin ayrı-ayrı orqanları arasında paylanmasının ümumi qanunauyğunluqları müəyyənləşdirilmişdir (Джафаров Э.С., Оруджева Дж. Р., 2006; Джафаров Э.С. и др., 2005; Оруджева Дж.Р., Джафаров Э.С., 2007).

Aydındır ki, bu məsələlərin həlli bitkilərin radionuklidləri toplamaq qabiliyyətini qiymətləndirməyə və buna uyğun aqromeliorativ tədbirlər işləyib hazırlamağa kömək edəcəkdir.

Radionuklidlərin bitkilərdə toplanmasına dair alınan nəticələrdən ərazinin radioaktiv çirklənmə səviyyəsinin qiymətləndirilməsi üçün istifadə edə bilər. Təbii

radionuklidlərin «torpaq- bitki» zənciri üzrə miqrasiyasına dair nəticələr həmçinin ərazidə kənd təsərrüfatı işlərinin aparılması zamanı nəzərə alın bilər. Tədqiq bitkilərindən hansısa birinin böyük üstünlüklə müəyyən radionuklidi toplaya bilməsi faktından isə həmin bitkidən çirklənmiş ərazilərin fitoekstraksiyası üçün uğurla istifadə edilə bilər və s.

Məlum olduğu kimi, torpaqdan torpaq məhluluna miqrasiya edən radionuklidlər daha sonra torpaq məhlulundan membran vasitəsilə bitki hüceyrələrinə daxil olurlar (Юрин В.М. и др., 1991). Tədqiqat işlərinin nəticələrindən aydın olur ki, eyni bir torpaq-iqlim şəraitində müxtəlif bitkilərin radionuklidləri kök vasitəsilə mənimsəməsi nəzərəcarpacaq dərəcədə fərqlənir. Başqa sözlə desək, bitkilərin kök sistemləri hansısa bir radionuklidi eyni torpaqdan mənimsəyərkən müxtəlif toplama qabiliyyəti nümayiş etdirir. Bu zaman radionuklidlərin verilmiş torpaqda bioloji mənimsənilməsi həm bitkinin növündən, həm də radionuklidin xassəsindən və onların torpaqda yüyürüklüyündən asılı olur.

Qeyd edək ki, bitkilərin kök sistemləri nəinki radionuklidləri adsorbsiya etmək (toplamaq), həm də onları desorbsiya etmək (özündən ayırmaq) qabiliyyətinə malik olurlar (Гродзинский А.М., Гродзинский А.Д., 1972).

Bu sahədə aparılan tədqiqat işlərinin nəticələrinin təhlili zamanı həm oxşar, həm də bir-biri ilə ziddiyyət təşkil edən məqamlara rast gəlmək olar. Ziddiyyətlərin səbəbi, ilk növbədə, həm tədqiq olunan bitkilərin və təcrübə sahələrinin, həm də ərazini çirkləndirən radionuklidlərin müxtəlifliyi ilə bağlıdır. Məsələn, ¹³⁷Cs izotopunun yulaf bitkisininə toplanmasını öyrənərkən müəyyənləşdirilmişdir ki, qələvi torpaq mühitində (pH - 5.2, humus - 2.72 %, mübadiləolunabilən kalsium - 23.29 m-ekv/100 q, kationların udulma həcmi - 33.7 m-ekv/100 q) formalaşan bu bitkidə *seziumun* miqdarı ən çox onun yarpaqlarında, ən az isə toxumlarında toplan bilər. Əlavə olaraq, göstərilir ki, bu radionuklid güclü turşulu torpaq halında bitkilərdə daha çox toplan bilər (Бунева Ц. и др., 1998). *Seziumun* turşuda həllolabilən torpaq fraksiyası halında göbələk bitkisininə də daha çox toplanması təsdiq edilmişdir (Винничук М.М. и др., 2003).

Digər bir işdə (Кадыка М.В. и др., 2005) ¹³⁷Cs izotopunun torpaqdan müxtəlif göbələklərə keçmə əmsalı ilə torpağın fizik - kimyəvi xüsusiyyətləri arasında miqdarı asılılıq müəyyən edilmişdir. Müəlliflərin fikrincə, yazılmış riyazi tənliklər torpağın fiziki - kimyəvi xüsusiyyətləri əsasında seziumun göbələklərdə toplanmasını proqnozlaşdırmağa imkan verəcəkdir.

Qeyd edək ki, bu istiqamətdə aparılmış təcrübələrin əksəriyyəti Çernobil radionuklidlərin (¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr) tədqiqinə həsr edilmişdir. Bunun səbəbi başadüşüləndir, çünki Çernobil AES - də baş verən qəza ətraf ərazilərin məhz bu radionuklidlərlə çirklənməsinə səbəb olmuşdur.

Təbii radionuklidlərin tədqiqinə dair işlərə gəldikdə isə, qeyd etmək lazımdır ki, bu sahədə işlər, az olmağına baxmayaraq, həm qəzadan əvvəl, həm də qəzadan sonra tədqiqatçıların diqqət mərkəzində olmuşdur. Məsələn, *uran* və *toriumun* torpaqda miqdarını müəyyənləşdirərkən aydın olmuşdur ki, torpaqda *uranın* və

toriumun konsentrasiyaları uyğun olaraq, 16-25 mkq/q və 14-97 mkq/q həddində olduqda, onların yarpaq toxumalarında konsentrasiyası uyğun olaraq $8.65 \cdot 10^{-3}$ və $1.59 \cdot 10^{-1}$ mkq/q, gövdə toxumalarında isə $7.95 \cdot 10^{-3}$ mkq/q və $9.10 \cdot 10^{-2}$ mkq/q həddində olur (Morton L.S. et al., 2002). Həmçinin də müəyyən edilmişdir ki, *torium* əsasən bitkilərin yarpaqlarında toplandığı halda, *uran* bütün orqanlar üzrə, demək olar ki, bərabər paylanır (Morton L.S. et al., 2002).

Uranın müxtəlif bitkilərdə toplanmasının tədqiqinə həsr edilmiş digər işdə bu məqsədlə 3 müxtəlif bitki seçilmiş və müəyyən edilmişdir ki, bitkilərin arasında günəbaxan və xardalın *uranı* toplamaq qabiliyyəti çox yüksəkdir (Федоров В.Н., Елуавшевич Н.В., 2000). Göstərilir ki, *uran* bu bitkilərin, əsasən, kökündə toplanır. Daha dəqiq desək, *uranın* miqdarının kökdə 6200 mkq/q, gövdədə isə 102 mq/kg olması müəyyən edilmişdir. Əlavə olaraq, həmin işdə müəyyən edilmişdir ki, $CaCO_3$ tərkibli torpaqda yetişən bitkilərdə *uran* daha çox budaqlarda və köklərdə toplanır. Ən az miqdarda toplanma gilli-turş torpaqlarda müşahidə olunmuşdur (Федоров В.Н., Елуавшевич Н.В., 2000).

Belə çıxır ki, günəbaxan və hind xardalından, *uran* izotopunu toplamaq qabiliyyəti yüksək olduğundan, *uranla* çirklənmiş ərazilərin fitomeliorasiyası üçün istifadə edilə bilər.

Digər bir işdə qarğıdalı bitkisinin ^{137}Cs izotopu üçün aşkar edilmiş kiçik toplanma əmsalına malik olması faktından (Столяров Г.В., 2002) isə *seziumla* çirklənmiş ərazilərdə kənd təsərrüfatı işlərinin aparılması üçün məhz bu bitkidən istifadə edilməsi məqsədmüvafiq hesab edilə bilər.

9.3. Ərazini çirkləndirən radionuklidlərin torpaqdan ərazidə formalaşan bitkilərə keçmə əmsallarının təyini.

Canlı orqanizmlərin ətraf mühitdə mövcud olan müxtəlif çirkləndiricilərin təsirinə cavab reaksiyasını öyrənərkən bitkilərə daha çox üstünlük verilir. Bu, artıq qeyd etdiyimiz kimi, ilk növbədə onların təbii trofiki zəncirin ilkin həlqəsi olması ilə yanaşı, həm də müxtəlif ətraf mühit çirkləndiricilərinin toplanması prosesində mühüm rol oynaması ilə əlaqədardır.

Ağır toksiki metalların, həmçinin də təbii radionuklidlərin miqrasiyası və verilmiş yerdə yenidən paylanması kimi proseslərdə isə əsas rol ot bitkiləri oynayır, çünki onlar əksər ərazilərdə təbii landsaftın ümumi biokütlesinin dominant hissəsini təşkil etməklə yanaşı, həm də praktiki olaraq, hər növ ağır metal və təbii radionuklidi özündə toplamaq və onların formalarının transformasiyası proseslərində iştirak etmək qabiliyyətinə malikdirlər (Носкова Л.М. и др., 2006). Bu qabiliyyət bitkilərin kök sistemlərinin ağır toksiki və radioaktiv metalların daha çox paylandığı torpağın üst qatında yerləşməsi ilə əlaqədardır. Həmçinin də müəyyən edilmişdir ki, ot bitkilərinin çirklənmə səviyyəsi həmin ərazidə yetişən ağac bitkilərinin assimilyativ orqanlarının çirklənmə səviyyəsindən bir neçə dəfə yüksək olur ki, bu zaman da ən böyük fərq

iyənəyarpaqlı, ən az fərq isə iriyarpaqlı ağac bitkilərində müşahidə olunur (*Цветнова О.Б., Щеглов А.И., 1999*).

İnsanın qida zəncirinin ilkin çirklənmə həlqəsini təşkil edən bitkilər, məlum olduğu kimi, birbaşa və ya dolayı yolla çirklənməyə məruz qala bilirlər. Bu halda birbaşa çirklənmə atmosfer çöküntüləri vasitəsilə həyata keçdiyi halda, dolayı çirklənmə bitkilərin kök sistemlərinin müxtəlif radionuklidləri mənimsəməsi hesabına baş verir. Bitkilərin kök sistemləri vasitəsilə çirklənməsi əksər hallarda üstünlük təşkil etdiyindən bu çirklənmənin tədqiqi son illər daha çox diqqət mərkəzindədir. Çirklənmiş ərazilərdə bitən bitkilərlə ev heyvanlarının qidalanması müxtəlif radionuklidlərin insan orqanizminə daxil olmasının əsas yolu olmasını nəzərə alsaq, radionuklidlərin torpağın xassəsindən və bitkinin növündən asılı olaraq, həm torpaqdan bitkilərə keçmə, həm də bitkilərin ayrı-ayrı orqanlarında toplanma xüsusiyyətlərinin araşdırılmasına böyük ehtiyacın olması aydın olur.

Məlum olduğu kimi, radionuklidlərin çirklənmiş ərazilərdən bitkilərə keçməsinə təsvir etmək üçün toplanma əmsallarından istifadə edilir ki, bu da radionuklidlərin bitkidə konsentrasiyasının torpaqda konsentrasiyasına nisbəti kimi müəyyən edilir:

$$K_t = \frac{n_{r,b}(Bk/kq)}{n_{r,t}(Bk/kq)}$$

(burada $n_{r,b}$ - radionuklidlərin bitkidə, $n_{r,t}$ - isə torpaqda konsentrasiyasıdır).

Nəzərə almaq lazımdır ki, çirklənmiş ərazilərdə şüalanma dozasının və əhalinin yaşama riskinin qiymətləndirilməsi zamanı bu göstəricilərdən praktiki istifadə müəyyən problemlər yaradır. Bu, ilk növbədə, həmin parametrin torpağın xüsusiyyətindən və bitkinin növündən asılı olaraq, geniş intervalda dəyişməsi ilə əlaqədardır (*Коноплев А.В., Коноплева И.В., 1999*). Bu baxımdan, radionuklidlərin torpaqdan bitkilərə keçməsinin intensivliyini müəyyən edən amilləri şərti olaraq üç qrupa bölürlər:

- torpaqda və torpaq məhlulunda radionuklidlərin müxtəlif kimyəvi formalarının nisbəti;
- torpağın və torpaq məhlulunun sorbsiya həcmi, torpağın radionuklidləri fiksətmə qabiliyyəti, torpaq məhlulunda mübadiləolunabilən ionların konsentrasiyası kimi fiziki-kimyəvi xassələri;
- bitkilərin fərdi fizioloji xüsusiyyətləri.

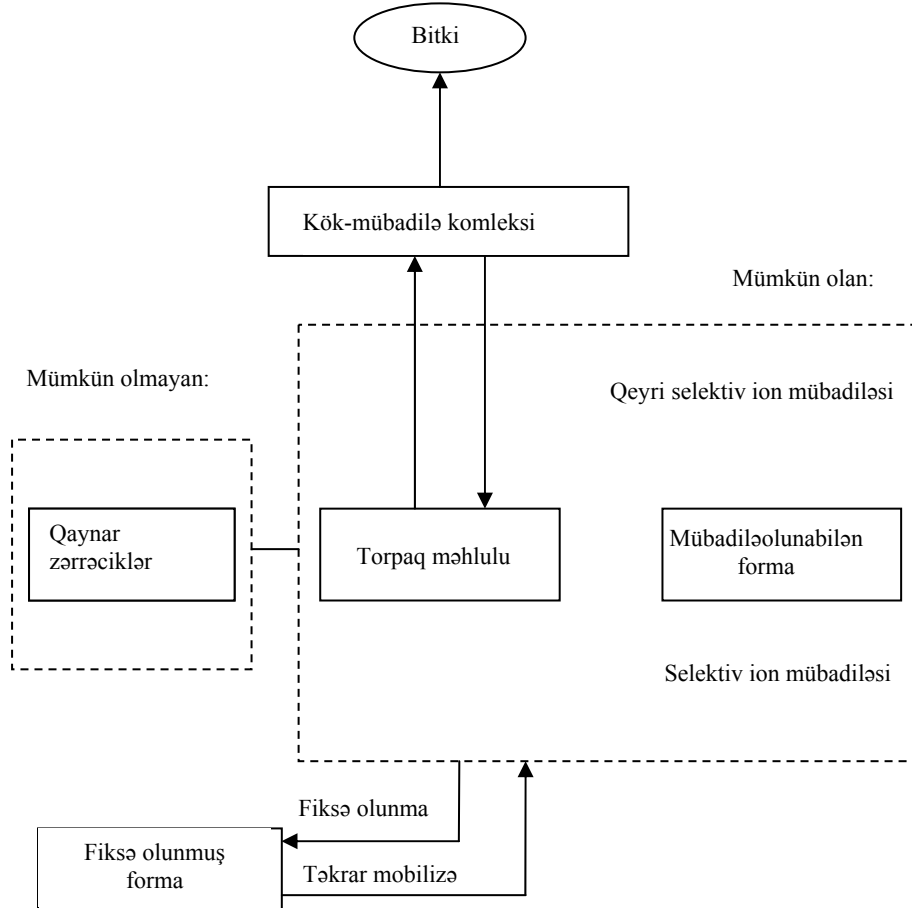
Aydındır ki, bitkilərin radionuklidləri kök vasitəsilə qəbul etməsi torpaq məhlulunda baş verir. Ona görə də, digər şərtlər eyni olduqda belə, torpaq məhlulunda radionuklidlərin konsentrasiyası çox olduğu halda, bitkilərdə də onların miqdarı çox olmalıdır.

Qeyd etmək lazımdır ki, torpaqda radionuklidlərin verilmiş konsentrasiyasında belə, onun torpaq məhlulunda konsentrasiyası geniş intervalda dəyişə bilər ki, bu da, hər şeydən əvvəl, torpağın sorbsiyaetmə, fiksətmə xüsusiyyətləri ilə və radionuklidin torpaq məhlulundan bitkilərə keçmə intensivliyini artırma bilən torpaq məhlulunun kation tərkibi ilə əlaqədar olur.

Qeyd edək ki, bitki fiziologiyasında mövcud olan müasir təsəvvürlərə əsasən də bitkidə radionuklidin miqdarı onun kök - mübadilə kompleksindəki miqdarı ilə düz mütənəsb olur (Коноплев А.В., Коноплева И.В., 1999).

Dediklərimizi ümumiləşdirərək, radionuklidlərin torpaqdan bitkilərə keçmə modelinin aşağıdakı konseptual sxemini vermək olar (şəkil 9.1). Hesab etmək olar ki, radionuklidlərin torpaq məhlulundan kök - mübadilə kompleksi vasitəsilə bitkilərə daxil olmasının selektiv ion mübadiləsi yolu ilə yanaşı, qeyri - selektiv ion mübadiləsi (*ion sızması*) yolu da mümkündür.

Sxemdə bu prosesdə mübadiləolunabilən forma ilə paralel, az miqdarda da



Şəkil 9.1. Radionuklidlərin torpaqdan bitkiyə keçmə modelinin konseptual sxemi.

olsa, fiksə olunmuş formanın da bitkilərə keçmə prosesində iştirak etməsinin mümkünlüyü öz əksini tapmışdır.

Artıq qeyd etdiyimiz kimi, toplanma əmsallarına uyğun göstəricilər variabelliyyə malik olurlar. Daha dəqiq desək, müxtəlif torpaqlarda yetişən eyni növ bitki üçün K_t əmsalı 2 - 3 tərtib fərqlənə bilər (*Handbook of parameter ...*, 1994). Buna görə də, toplanma əmsallarının orta qiymətlərindən istifadə etməklə, çirklənmiş ərazilərdə yaşama riskini və şüalanma dozasını qiymətləndirən zaman böyük xətalara yol verilmiş olur. Məlumdur ki, K_t əmsallarının böyük variabelliyi əhəmiyyətli dərəcədə torpaqların fiziki - kimyəvi xassələrindəki fərqlərlə müəyyən olunur. Bu səbəbdən də, toplanma əmsallarının ən düzgün təyini onların torpağın xüsusiyyətləri əsasında müəyyənləşdirilməsidir.

Məlum olduğu kimi, torpağın xüsusiyyətlərinin radionuklidlərin bioloji mənimsənilməsində rolu əhəmiyyətli olaraq, radioizotopların hansı formada olması ilə təyin olunur (*Королева И.В. т др., 2002; Сергун И.В., Кожевникова А.Д., 2004*). Bu zaman radionuklidlərin bitkiyə keçməsinin əsas rəyü məhz mübadiləolunabilən formanın üzərinə düşür (*Юдинцева Е.В., Гулякин И.В., 1968*). Təcrübi faktların təhlili isə, bunun əksinə olaraq, K_t əmsalı ilə mübadiləolunabilən formanın miqdarı arasında zəif korrelyasiyanın olduğunu göstərir (*Rauret G. Et al., 1996*). Çox yəqin ki, bunun səbəbi K_t əmsalına radionuklidlərin mübadiləolunabilən formasının miqdarı ilə yanaşı, həmçinin də torpağın sorbsiyaetmə xüsusiyyəti və torpaq məhlulunda radionuklidlərlə rəqabət edə bilən kationların miqdarı da əhəmiyyətli dərəcədə təsir edə bilər.

Hal - hazırda müəyyən edilmişdir ki, radionuklidlərin torpaqdan bitkilərə keçməsi təkcə torpaq-kimyəvi prosesin təsirinin nəticəsi deyil, bu həmçinin torpaq məhlulundan radionuklidlərin bitkilərin kök sistemləri vasitəsilə udulması ilə bağlı bioloji (fizioloji) prosesin nəticəsidir. Hər iki proses torpaq məhlulunda radionuklidlərlə rəqabətə girə bilən kationların konsentrasiyası ilə müəyyən olunur.

Qeyd edək ki, əkin torpaqları üçün bu əmsallar radionuklidin xassələrindən, onun torpaqda hansı formada olmasından, bitkinin növündən və torpağın xüsusiyyətlərindən asılı olur (*Носкова Л.М. и др., 2006; Цветнова О.Б., Щеглов А.И., 1999*). K_t əmsallarının qiyməti həmçinin radionuklidin hansı hissəsinin torpağın əkilən təbəqəsində olmasından asılı olur. Dincə qoyulmuş əkilməyən torpaqlar üçün isə bitkinin radioaktiv çirklənməsinə təsir edə bilən əlavə faktor bitkinin kök sisteminin yerləşdiyi təbəqədə radionuklidlərin şaquli paylanmasıdır. Məsələn, kök sisteminin hansı hissəsində radionuklidlərin daha çox olmasından asılı olaraq, bitkilərdə radionuklidlərin miqdarı on dəfələrlə fərqlənə bilər (*Юдинцева Е.В., Гулякин И.В., 1968*).

Tədqiqat işlərinin nəticələrindən aydın olur ki, torpaqda çox miqdarda olan izotopun bitkidə miqdarı da çox olur. Toplanma əmsallarına gəldikdə isə fərqli mənzərənin şahidi oluruq. Qeyd edək ki, bu parametr həmçinin verilmiş mərhələ üçün radionuklidlərin bitkilərə keçmə intensivliyini xarakterizə edən "*bioloji udulma əmsalı*" -na ekvivalent olur. Alınmış nəticələr "*təbii radionuklidlərin torpaqda konsentrasiyası çox olduqca, bioloji udulma əmsalları kiçilir*" fikrini söyləməyə əsas verir. Qeyd edək

ki, adı çəkilən kəmiyyətlər arasında mövcud olan əks əlaqə bir çox işlərdə də (Носкова Л.М., 2006; Носкова Л.М. и др., 2006; Шершунова В.И. и др., 1984) öz əksini tapmışdır.

Belə çıxır ki, bitkilər radionuklidləri müəyyən bir limit qiymətinə qədər toplaya bilir. Başqa sözlə desək, hesab etmək olar ki, bitkilərdə təbii radionuklidlərə qarşı müəyyən bioloji bəyər mövcuddur.

Alınan nəticələrdə diqqəti cəlb edən başqa bir fakt ondan ibarətdir ki, həm müxtəlif bitkilərin eyni bir izotopa həssaslığı, həm də eyni bitkinin müxtəlif izotoplara həssaslığı əhəmiyyətli dərəcədə fərqli olur. Belə çıxır ki, eyni bir torpaq-iqlim şəraitində müxtəlif bitkilərin radionuklidləri bioloji udma qabiliyyəti bitkinin növündən başqa, həm də radionuklidin xassəsindən asılı olur.

Müxtəlif müəlliflər tərəfindən aparılmış tədqiqat işlərinin təhlili radionuklidlərin bitkilər tərəfindən mənimsənilməsinin onların torpaqda miqdarından asılı olduğunu göstərir. Dementyev və Bolsunovski (Деметьев Д.В., Болсуновский А.Я., 2006) müxtəlif bitkilərdə həm aerosol mənbələrdən torpağa daxil olan ^{40}K və ^{137}Cs izotoplarının, həm də müxtəlif təbii radionuklidlərin toplanmasını tədqiq edərkən göbələklər qrupu müəyyənləşdirə bilməmişlər ki, onlar da *seziyum* - 137 izotopunu *plutonium* – 238 – 240 izotopları ilə müqayisədə 10 , *stronsium* - 90 izotopu ilə müqayisədə isə 1000 dəfə çox toplayır.

Digər bir işdə isə (Копплева И.В. и др., 2006) Çernobil radionuklidi olan ^{137}Cs izotopunun torpağın bitkilərin kök sistemlərinin yerləşdiyi lay üçün bioloji mənimsənilmə parametrləri hesablanmışdır. Parametrlər bu radionuklidin torpaqdan bitkilərə keçməsinin və onlarda toplanmasının modeli əsasında müəyyənləşdirilmişdir. Bu zaman baza parametrləri olaraq, torpaqda ^{137}Cs izotopunun *mübadiləolunabilən* miqdarı, *radioseziyumun* selektiv sorbsiya potensialı və torpaq məhlulunda olan K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} və Mg^{2+} ionlarının konsentrasiyaları götürülmüşdür.

Çernobil AES - də qəzadan sonra tədqiqatçıların daha çox marağına səbəb olan ^{137}Cs izotopunun dincəqoyulmuş torpaqlarda bitkilərə keçmə əmsallarının əkin torpaqları ilə müqayisədə 2.5 - 3 dəfə çox olması faktı aşkar edilmişdir (Луцатов Д.Н. и др., 2006). Müəlliflərin fikrincə, bu həmin torpaqlarda *seziyumun* bioloji dövrəyə daha intensiv daxil olduğunu göstərir və bitkilərin kök sistemlərinin yerləşdiyi $0-10$ sm dərinlikli layda dincəqoyulmuş torpaqlar üçün həmin izotopun konsentrasiyasının 2 dəfə çox olması ilə əlaqədardır.

Belə çıxır ki, dincə qoyulmuş torpaq sahələrini kritik kateqoriyaya aid etmək və bu faktı kənd təsərrüfatı məhsullarının radiasiya nəzarəti zamanı mütləq nəzərə almaq lazımdır.

Son illər radionuklidlərin həmçinin bitkinin müxtəlif orqanlar və toxumaları üzrə paylanması öyrənilməsinə xüsusi əhəmiyyət verilir. Müxtəlif üsullarla müəyyən edilmişdir ki, ağır metalların toxuma və hüceyrə səviyyəsində paylanmasında böyük fərqlər mövcuddur. Məsələn, müəyyən edilmişdir ki, qeyri - letal konsentrasiyalarda *Cd*, *Pb* (Серегин И.В., Иванов В.Б., 1997; Косжан Г. Et al., 1996; Ksiazek M., Wozny A., 1990; Theiss H. B., 1990; Tung G., Temple P.J., 1996) və *La*

(Lehmann H. Et al., 2000; Peterson T.A. et al., 1986) əsasən rizederm hüceyrələrinin anoplastında və qabığında toplandığı halda, *N* daha çox miqdarda kökün bütün toxumalarının hüceyrə protoplastlarında akkumulyasiya edə bilir (Серезин И.В. и др., 2003; Kramer U. et al., 2000; Persans M.W. et al., 2001).

Metal ionlarının paylanmasıdakı bu fərqləri onların hüceyrə səviyyəsində plazmalemmaın, toxuma səviyyəsində isə endodermanın yaratdığı fizioloji maneələri (baryerləri) müxtəlif cürə keçə bilməsi ilə izah etmək olar. Metalların kökün toxumaları üzrə nəqli mexanizmlərinin müxtəlifliyi, həmçinin də müxtəlif növ bitkilərin morfo-funksional xüsusiyyətləri, metalların bitkilərin orqanları üzrə qeyri - bərabər paylanmasına səbəb olur. Bitkilərin əksəriyyətinin budaqlarında metalların konsentrasiyası ətraf mühətdəki miqdarı ilə müqayisədə çox az olur (Baker A.J.M., 1981). Bu növ bitkilərin kökündə də metalların miqdarı budaqlardakı miqdarından dəfələrlə çox olur (*Phytoremediation of Toxic Metals Using ...*, 2000). Qeyd edək ki, bu növ bitkilərdə metalların bitkinin yərüstü orqanlarına keçməsinə maneçilik törədən amillər belə tam aydınlaşdırılmayıb.

Artıq qeyd etdiyimiz kimi, bir qrup tədqiqatçıların ot bitkilərini radionuklidləri toplamaq qabiliyyətinə görə sistemləşdirmək cəhdləri heç də sevindirici nəticələr əldə etməyə imkan verməmişdir (Цветнова О.Б., Щеглов А.И., 1999). Bu zaman bitkilərin radionuklidləri toplamaq qabiliyyəti çoxlu sayda amillərdən (məsələn, radionuklidin növündən, qlobal çöküntünün xüsusiyyətindən, torpağın xassələrindən və s.) asılı olmuşdur. Buna görə də, bu günədək bitkinin növ mənsubiyyəti ilə radionuklid toplamaq qabiliyyəti arasında birqiyəmətlili əlaqə tapmaq mümkün olmamışdır. Bununla yanaşı, vegetasiya dövrü ərzində radionuklidlərin toplanmasında və çoxillik proses nəticəsində onların dinamikasında müəyyən fərqlər aşkar edilsə də, bu sahədə də hansısa bir qanunauyğunluq tapmaq mümkün olmamışdır.

Bütövlükdə bitkilərin radionuklidləri toplamaq qabiliyyətinə görə sistemləşdirilməsi həm nəzəri, həm də böyük praktiki əhəmiyyətə malik olmalıdır. Diskriminatorlar qrupuna daxil olan bitkilər çirklənmə zonasında əkilmək üçün bitki seçilməsi zamanı istifadə oluna bilər. Konsentratör isə radionuklidlərin bitkilər tərəfindən mənimsənilməsi mexanizminin aydınlaşdırılması işinə böyük töhvə verə bilər. Onlar həmçinin çirklənmiş ərazilərdə bioindikator kimi istifadə oluna bilər.

Tədqiqatçılar eyni ekotopun (avtomorf landşaftın) sərhədləri daxilində yetişən bitkiləri konsentratör və diskriminator (və ya dekonsentratör) kimi qruplara ayırmaqla, müəyyən etmişlər ki, ¹³⁷Cs izotopunu toplamaq qabiliyyətinə görə may inciçiyə digər bitkilərdən xeyli fərqlənir. *Seziumun* miqdarı bu bitkidə digər bitkilərə nisbətən 2-10 dəfə çox olur (Куликов Н.В. и др., 1990). Bu izotopu toplamaq qabiliyyəti xardal bitkisi təxminən bir tərtib az olur (Куликов Н.В. и др., 1990).

Ot bitkiləri tərəfindən radionuklidlərin toplanmasına onların yetişmə şəraitləri də əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir. Çoxillik tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, müxtəlif hidromorf landşaftlar şəraitində yetişən eyni növ bitkilər ¹³⁷Cs izotopunu toplamaq qabiliyyətinə görə 20-30 dəfə fərqlənirlər (Куликов

H.B. u dr.,1990). Bu, ilk növbədə, ¹³⁷Cs izotopunun mineral və üzvi torpaqlarda müxtəlif fiksəolunma dərəcəsi ilə əlaqədardır.

İndi də radionuklidlərin bitkidə toplanma əmsalının vegetasiya dövrünün mərhələlərindən asılı olub-olmaması üzərində dayanmaq. Əvvəlcə qeyd etmək ki, bitkilərdə radionuklidlərin konsentrasiyasının vegetasiya müddəti ərzində qeyri - stabil olmasına dair ədəbiyyatda, az da olsa, məlumatlar mövcuddur (Лосик Н.В. u др., 1991; Тимофеев С.Ф. u др., 1991). Müxtəlif yabanı ot bitkilərində ¹³⁷Cs izotopunun fəsilədən asılı toplanma dinamikasının tədqiqi onun miqdarının vegetasiya müddəti ərzində geniş intervalda dəyişdiyini göstərir. Daha dəqiq desək, *seziyumun* miqdarına yazdan yaya qədər artma, yaydan payıza qədər isə azalma tendensiyası xas olması müəyyənləşdirilmişdir (Цветнова О.Б., Щеглов А.И., 1999).

¹³⁷Cs izotopunun miqdarının fəsilədən asılı dəyişmə dinamikası bitkinin növ xüsusiyyətlərindən, onların yetişmə şəraitlərindən əhəmiyyətli dərəcədə asılı olur. Hidromorf şəraitlərdə əksər bitkilərdə dinamik konsentrasiyanın yazdan payıza qədər eyni istiqamətli enmə əyrisinə malik olduğu göstərilir. *Seziyumun* miqdarı bu şəraitlərdə vegetasiya dövrünün sonuna yaxın 5-10 dəfəyə qədər az olur. Bununla yanaşı, bəzi bitkilər üçün fəsil dinamikasında ümumi azalma izi fonunda *seziyumun* miqdarının ayrı-ayrı periodlarda artıb-azalması da müşahidə olunur (Цветнова О.Б., Щеглов А.И., 1999).

Bunun əksinə olaraq, avtomorf ərazilərdə fəsil dinamikasında yazdan yaya qədər *seziyumun* miqdarının artması baş verir və yalnız bitkilərin quruması (sentyabr-oktyabr ayları) zamanı, çox yəqin ki, yuyulma prosesləri hesabına onun miqdarı azalır (Цветнова О.Б., Щеглов А.И., 1999).

Bu xarakterli dəyişmə əksər mikroelementlər üçün doğru olur (Белицына Г.Д., Черепова Т.В.,1980). Bununla yanaşı, bəzi bitkilərdə ayrının maksimumu iyuldan sentyabra tərəf sürüşə bilir ki, bu da bitkinin inkişaf tsiklinin uzunluğu ilə müəyyən edilir.

Göründüyü kimi, yalnız sadalanan faktların əsasında hansısa ümumiləşmiş nəticələr söyləmək çətindir. Fərz etmək olar ki, qeydə alınmış fərqlər bitkinin köklərinin yaratdığı kimyəvi potensialın dinamikası ilə müəyyən olunur. Bu rəqəm biokütlənin toplanma intensivliyindən və nəmlik dinamikasından asılı olur (Карпачевский Л.О., 1981).

Avtomorf landşaft şəraitlərində bitkilərdə yazdan payıza tərəf suyun miqdarı azalır ki, bu da vegetasiyanın sonuna qədər *seziyumun* konsentrasiyasının artmasına səbəb olur. Hidromorf şəraitlərdə isə bütün bu period ərzində suyun miqdarı dəyişmədiyi üçün (Щеглов А.И. u др., 1991) konsentrasiya əyrisi ekstremumlara malik olur. *Seziyumun* bitkilərdə toplanma dinamikasına dair nəticələrdən trofiki zəncirin «bitki - heyvan» həlqəsi aspektinə keçsək, *seziyumun* qida zənciri üzrə axınının yaz və yayın sonuna yaxın sürətli olması fikrinə gəlmiş olarıq.

Göründüyü kimi, bu istiqamətdə aparılan tədqiqat işləri süni radionuklidlərə, əsasən də Çernobil radionuklidi olan *seziyum-137* izotopuna həsr olunub. Təbii radionuklidlərin bitkilərdə fəsilədən asılı toplanmasına dair, demək olar ki, tədqiqat

işləri aparılmayıb. Məlum olduğu kimi, müxtəlif minerallarla fiksə olunmuş formada olan metalların bitkilərə keçməsi çətinləşir ki, bu da, onların bitkilərdə toplanma əmsalını azaldır (*Агапкина Г.И., 2002*).

Qeyd edək ki, Şeqlov və Svetnova da çoxillik ağac bitkiləri üçün radionuklidlərin müxtəlif növ bitkilərdə mövsümi toplanmasında hansısa bir qanunauyğunluq tapmağa cəhdlər etmişlər və müəyyən etmişlər ki, ^{137}Cs və ^{90}Sr radionuklidlərinin ağac bitkilərində konsentrasiyasının mövsümi dəyişmələri formaca sadə, izin xarakterinə görə əksdir (*Щеглов А.И., Цветнова О.Б., 2004*). Daha dəqiq desək, ^{137}Cs izotopunun yazdan payıza qədər mövsüm dinamikasında bir istiqamətli azalma, ^{90}Sr izotopunda isə həmin müddət ərzində artma izi aşkar edilmişdir. Müəlliflərin çoxillik müşahidələri ^{137}Cs izotopunun miqdarının avtomorf landşaft bitkilərdə ilbəil azaldığını, hidromorf və yarım - hidromorf şəraitlərdə isə artdığını göstərmişdir. Bu zaman ^{90}Sr üçün bitkilərdə akkumulyativ xarakterli toplanma müşahidə olunmuşdur ki, bu da, müəlliflərin fikrincə, həmin izotopun akkumulyativ toplanma xarakterli olması ilə əlaqədardır.

Belə çıxır ki, radionuklidlərin müxtəlif bitkilərdə miqdarının həm mövsümi, həm də çoxillik dəyişmə dinamikası çoxlu faktorlardan asılı olan bir prosesdir. Bu, ilk növbədə, radionuklidlərin kimyəvi təbiəti, landşaft şəraiti, bitkilər üçün məniməniləbilən formanın əmələgəlmə kinetikasından, bitkilərin kök sistemlərinin yerləşdiyi torpaq layında radionuklidlərin mübadiləolunabilməyən formada fiksə olunmasından və s. asılı olur. Ona görə də bu sahədə müəyyən bir qanunauyğunluğun tapılması və proseslərə uyğun riyazi modellərin qurulması üçün, sadalanan amillər nəzərə alınmaqla, eksperimentlər identik torpaq-iqlim şəraitində aparılmalıdır.

Sonda qeyd edək ki, elmi ədəbiyyatda radionuklidlərin qida məhsullarına keçmə əmsallarının təyininə dair işlərə də rast gəlmək olur. Məsələn, Hindistan alimləri yerüstü və su ekosistemlərində radionuklidlərin toplanması ilə yanaşı, həm də onların heyvan yemində, südünə və ətinə keçmə əmsallarını da müəyyənləşdirmişlər (*Hegde A.G. et al., 2004*).

9.4. Radionuklidlərin torpaqdan bitkilərə keçməsinin riyazi modeli.

Ümumiyyətlə götürdükdə, son illərin tədqiqat işlərində ən çox diqqəti cəlb edən həm süni, həm də təbii radionuklidlərin torpaqda paylanma və torpaqdan bitkiyə keçərək bitkidə, onun ayrı-ayrı orqanlarında paylanması proseslərinin riyazi modellərinin qurulmasına edilən cəhdlərdir. Bu işlərə misal olaraq, Bulqakov, Şkuta, Qontarenko, Panasenکو, Fesenکو, Vudhed və başqalarının işlərini göstərmək olar (*Булгаков А.А., Шкута О.В., 2004; Гонтаренко И.А., 2001; Панасенко С.М., 1999; Фесенко С.В. и др., 2002; Woodhead D.S., 2003*). Qeyd olunan işlərin, demək olar ki, hamısı ^{137}Cs izotopunun tədqiqinə həsr edilmişdir. Bu izotopun həm torflu (*Фесенко С.В. и др., 2002*) və meşə ekosistemlərində (*Гонтаренко И.А., 2001*) özünü aparmasını, həm də bitkilərdə toplanmasını təsvir edən riyazi model qurulmuş (*Булгаков А.А., Коноплев А.В., 2002; Фесенко С.В. и др., 2002*), modelin parametrləri

əsasında *seziumun* torpaq profili üzrə paylanması və bitkilərə daxil olmasının proqnozu verilmişdir. Riyazi modeldə antropogen amillərin təsiri də öz əksini tapmışdır (*Молчанова И.В., Караваева Е.Н., 2001*).

¹³⁷Cs izotopunun bitkilərdə toplanma mexanizmi, maddələrin bitkilərə daxil olmasını tədqiq edərkən istifadə olunan və çox yaxşı öyrənilmiş obyektlərdən hesab olunan bir hüceyrəli yosun nümunələrindən istifadə edilməklə, araşdırılmışdır. Yosunlarla aparılan təcrübələrin nəticələri əsasında radionuklidlərin torpaq məhlulundan ali bitkilərin kök sisteminə daşınmasının modelləşməsi üçün yollar işlənmişdir. Bu yollar həm də mineral qidalanma şəraitinin dəyişməsi zamanı bitkilərə ¹³⁷Cs izotopunun daşınması prosesində ayrı-ayrı nəqliyyat mexanizmlərinin rolunu və payını qiymətləndirməyə imkan vermişdir. Riyazi modelinin qurulması həmçinin ətraf mühitin radioaktiv çirklənməsinin törədə biləcəyi təsirlərin uzun müddətə proqnozlaşdırılması işində mühüm əhəmiyyətə malik olacaqdır.

Qeyd edək ki, riyazi modelləşdirmə işində radionuklidlərin torpaqdan bitkilərə və onların ayrı-ayrı orqanlarına keçmə əmsallarını müəyyənləşdirmək işin əsas məhiyyətini təşkil edir. Bu sahədə aparılmış tədqiqat işlərinin kifayət qədər (*Крук А.В. и др., 2004; Майоров М.Е., 2003; Маркина З.Н. и др., 2003; Мукмушева М.К. и др., 2003; Подояк А.Г. и др., 2005; Романюк С.С. и др., 2002; Geras'kin S. et al., 2004; Hegde A.G. et al., 2004; Outila I. et al., 2003*) olmasına baxmayaraq, model qurulmasına həsr olunmuş işlər heç də çox deyildir.

Bu baxımdan, həm süni, həm də təbii radionuklidlərin müxtəlif növ torpaqlarda miqrasiyasının və onların ayrı-ayrı bitkilərə keçmə xüsusiyyətlərinin kifayət qədər öyrənilməməsi bu sahədə tədqiqat işlərinin aparılmasına və radionuklidlərin yerdəyişməsinə təsvir edən riyazi modelin qurulmasına böyük ehtiyac olduğunu göstərir.

Radionuklidlərin torpaqda şaquli miqrasiyasını proqnozlaşdırmağa imkan verən model Konoplev (*Коноплев А.В. 1998*) tərəfindən verilmişdir. Bir qrup alimlər K_t əmsallarının torpağın xüsusiyyətləri əsasında təyininə dair üsullar da işləyib hazırlamışlar (*Булгаков А.А. и др., 2000; Коноплев А.В., 1998; Коноплев А.В., Коноплева И.В., 1999*). Həmçinin radionuklidlərin torpaqda mövcudolma formasının şaquli qeyri - bircinsliliyi əsasında onların bitkilərə keçməsinə müəyyənləşdirən model də təklif olunmuşdur. Bütün bunlara baxmayaraq, Fesenkonun dediyi kimi, bu sahədə görüləcək işlər hələ də qənaətbəxş deyil (*Fesenko S. et al. 1999*).

Qeyd edək ki, radionuklidlərin bitkilərdə toplanmasına təkcə onların torpaqda hansı formada olması təsir etmir. Bu zaman radionuklidlərin torpaqdan bitkilərə keçməsinə proqnozlaşdırmaq üçün K_t əmsallarına təsir edə bilən bütün amillər (radionuklidlərin mövcudolma formaları, kökün yerləşdiyi təbəqədə onların şaquli paylanması, dərinlikdən asılı torpağın xassələri və s.) nəzərə alınmalıdır. Belə ki, bunlar nəzərə alınmadan bitkilərin radioaktiv çirklənməsinin uzunmüddətli proqnozunu vermək olmaz və çirklənmiş ərazilərdəki bitkilərdən istifadə radionuklidlərin insan orqanizminə daxil olmasının əsas mənbəyi ola bilər.

Mövcud olan modellərdə radionuklidlərin torpaqdan bitkilərin kök sistemlərinə keçməsinə dönməz proses kimi baxılır (*Avila R., Moberg L., Hubbard L., 1988; Prister B.S. et al., 1996*). Düzdür, bu cür yanaşma əksər hallarda radionuklidlərin torpaq-bitki sistemində integral axınını düzgün təsvir etməyə imkan verir, lakin bitkilərin kök sisteminin yerləşdiyi təbəqədə radionuklidlərin qeyri-bircins şaquli paylanması halında onların, əksinə, kökdən torpağa keçməsinin də mümkünlüyü nəzərə alınmır. Bu, ilk növbədə, kök sistemi zonasında çirklənməmiş təbəqəyə aiddir ki, bu zaman da radionuklidlərin effektiv axını bitkidən torpağa yönələ bilər.

Məlum olduğu kimi, ölçü biologiyasında kinetik allometrik yanaşma üsulundan istifadə olunur ki, bu üsulla da "ölçünün" bitki və heyvanların bioloji xarakterinə təsiri öyrənilir. Hal-hazırda allometrik səviyyədə ölçünün həyatın davam etmə müddəti ilə, qida qəbul etmə və inqalyasiya sürəti kimi bir çox fizioloji parametrlərlə əlaqəsi müəyyənləşdirilmişdir. Allometrik yanaşmadan istifadə etməklə, 23 müxtəlif radionuklidin orqanizmlərin toxumalarında konsentrasiyasını proqnozlaşdırmağa cəhdlər edilmişdir (*Higley K.A. et al., 2003*).

RADİOAKTİVLİK VƏ ONUN YARATDIĞI EKOLOJİ PROBLEMLƏR

Bu gün insanları narahat edən problemlərdən biri də radioaktiv şüa mənbələrinin yaratdığı ekoloji problemlərdir. Qeyd edək ki, "radiasiya" sözü əksər insanlarda ilk baxışdan qorxu, həyəcan yaradır. Hətta insan psixologiyasının bu halı üçün yeni "atom sindromu" adlanan termin də qəbul edilmişdir. Ümumi ekoloji problemlərin içərisində radiasiyanın insanlara, ətraf mühitin ayrı-ayrı komponentlərinə təsirinə dair problemlər qədər sual və mübahisələr doğuran, özünə cəmiyyətin daha çox diqqətini cəlb edən ikinci problem yoxdur.

Adı çəkilən məsələyə aydınlıq gətirmək məqsədi ilə, qısa da olsa, ümumi ekoloji problemlər üzərində dayanacaq.

İnsanın ətraf mühitə texnogen təsirinin yaratdığı ekoloji problemləri, miqyasından asılı olaraq, qlobal, regional və lokal ekoloji problemlərə ayırırlar.

Qlobal problemlərə ozon "deşiyi" problemini, dünya okeanının neft məhsulları ilə çirklənməsi problemini və istixana" (parnik) effekti problemini aid edirlər.

Regional ekoloji problemlərə kimya, metallurgiya və s. kimi istesalat sənayesi tullantılarının hava axını vasitəsi ilə yüz, min kilometrə uzaq məsafələrə köçürülməsi, turşu yağışlarının əmələ gəlməsi və böyük regionların bitki örtüklərinin məhv edilməsi problemləri aid edilir. İlk növbədə iri şəhərlərin və sənaye mərkəzlərinin problemi olan lokal ekoloji problemlər isə miqyasına görə onlarla kilometr əraziləri əhatə edir. Bu gün ətraf mühitin müxtəlif radioaktiv tullantılarla çirklənməsi də ciddi qlobal ekoloji problemə çevrilməkdədir. Bu problemin yaranma səbəblərini şərh edək.

10.1. Ətraf mühitin radioaktiv tullantılarla çirklənməsi.

Radioaktiv maddələrdən hərbi məqsədlər, elektrik enerjisi almaq və s. kimi məqsədlər üçün istifadə edilməsi, həmçinin də onlardan təbabətdə, kənd təsərrüfatında, elmi-tədqiqat işlərində və digər sahələrdə istifadə edilməsi böyük miqdarda radioaktiv tullantıların əmələ gəlməsinə səbəb olur. Bu gün radioaktiv tullantıların "basdırılmasının" bütöv bir sisteminin işlənilib hazırlanmasına baxmayaraq, onların müəyyən bir qismi müxtəlif vasitələrlə ətraf mühitə yol tapır və bununla da təbii radiasiya fonunu artırır.

Ətraf mühitin radioaktiv çirklənməsinə səbəb olan əsas amilləri aşağıdakı kimi qruplara ayırmaq olar:

1. Nüvə silahlarının atmosferdə və su altında sınaqlarının keçirilməsi;
2. Nüvə energetik qurğularından, istiliyi regenerasiya edən zavodlardan, sənaye müəssisələrindən, tibb müəssisələrindən və elmi - tədqiqat mərkəzlərindən, nüvə döyüş sursatı zavodlarından və s. kiçik aktivlikli maye tullantılarının atılması;
3. Xüsusi qaydada qablaşdırılmış kiçik aktivlikli tullantıların okeanın dibində basdırılması;
4. AES-lərdə radionuklidlərin ətraf mühitə birbaşa düşməsinə səbəb olan qəzalar;
5. Nüvə energetik qurğulara malik sualtı qayıq və suüstü gəmilərdə baş verən qəza nəticəsində radionuklidlərin birbaşa dəniz mühitinə düşməsi;
6. Radioizotop enerji mənbəyinə malik peyklərin, kosmik gəmilərin və raketlərin qəza nəticəsində yerə düşməsi;
7. Radioaktiv materialların daşınması zamanı müxtəlif dərəcəli qəzalar.

AEBA-nın hesablamalarına əsasən fəaliyyətdə olan nüvə reaktorlarından keçən yüzilliyin sonuna qədər *200 min ton* istismardan çıxmış nüvə yanacağı boşaldılmışdır. Hesab olunur ki, toplanmış tullantının əsas hissəsi təkrar emal prosesini keçmədən enerji dövriyyəsiindən kənarlaşdırılacaq, yəni müxtəlif üsullarla basdırılacaq. Qeyd edək ki, bu üsula Kanada, Finlandiya, İspaniya, İsveç və ABŞ dövlətləri daha çox meyllilik göstərirlər.

Argentində, Belçikada, Çində, Fransada, İtaliyada, Rusiyada, İsveçrədə və İngiltərədə isə daha çox istismardan çıxmış nüvə yanacağının emalına üstünlük verilir. Qeyd edək ki, Almaniyada yeganə məqbul variant kimi tullantıların təkrar emalı prosesi qəbul edilmişdir.

Belçikada, Fransada, Yaponiyada, İsveçrədə və İngiltərədə radioaktiv tullantıları bor-silikat şüşə ilə örtərək, *5 mm* qalınlıqlı paslanmayan poladdan olan fransa tipli konteynerlərə yerləşdirirlər. ABŞ - da bu məqsədlə *1 sm* qalınlıqlı paslanmayan poladdan olan konteynerlərdən istifadə edilir. Əksər ölkələrdə şüalanmış yanacağın və yüksək aktivlikli tullantıların axırncı xaric olunmaya qədər *20-100 il* ərzində saxlanması nəzərdə tutulub. İngiltərədə əvvəlcədən planlaşdırılmış müvəqqəti saxlanılma yerlərinin işlənilməsi hazırlanması proqramı dayandırılmış və onların *100 il* - ə qədər uzunmüddətli saxlanması işlərinin həyata keçirilməsinə başlanmışdır.

Radiokimyəvi zavodlarda baş verən qəzalar ətraf mühit üçün böyük təhlükə yaradır. Məsələn, 1957 -ci ildə Cənubi Uralda "Mayak" istehsalat Birliyində böyük qəza baş verdi. Radioaktiv tullantıların saxlanıldığı çən partladı və nəticədə *~2 mln. kəri* aktivliyə malik yüksək aktivlikli maddələrin ətrafa səpələnməsi baş verdi. Bu zaman ümumi sahəsi *23 min kv. km* olan ərazi *stronsium-90* və *sezium-137* radioizotopları ilə çirkləndi. Çelyabinski, Sverdlovski və Tümen əyalətlərini əhatə edən

və eni 8-9 km, uzunluğu isə 105 km -ə yaxın olan bu çirklənmə zonasına “Şərqi - Ural radioaktiv izi” adı verildi.

Özünün mövcudluğunun ilk illərində ətraf mühitə və insanların sağlamlığına ciddi ziyan vuran “Mayak” müəssisəsi dünya radiologiya alimlərinin böyük marağına səbəb oldu. Teça çayının və Karaçay gölünün çirklənməsi ilə nəticələnən bu qəza böyük alimlər ordusunu radiasiyanın insanlara, heyvanlara və bitki aləminə təsirinin öyrənilməsinə sövq etdi. 1958-ci ildə “Mayak” -ın yerləşdiyi Çelyabinski - 40 - dan 15 km aralıda, radioaktiv izin ərazisində təcrübə Elmi-tədqiqat Stansiyası yaradıldı. Stansiyanın əməkdaşları qısa müddətdə elə bir elmi nəticələr bazası yarada bildilər ki, bu günə qədər də heç bir ölkə bu qədər məlumat bazasına malik deyil. Hətta Naqasaki və Xerosima hadisələrinin nəticələrini öyrənən yapon alimlərinin aldığı elmi nəticələr təkcə “Mayak” -ın bir bazasında alınan nəticələrdən ~ 5 dəfə az idi. İnsanların sağlamlığı baxımından bu tədqiqatların əhəmiyyəti misilsizdir. Tədqiqatların nəticələrində müəyyən edildi ki, hətta güclü radiasiya təsiri belə ekosistemin bütövlükdə məhvi üçün kifayət deyil. Təbiət radiasiyanın təsirinə qarşı dayanıqlıdır. Belə ki, meşə və çəmənliklərin kəskin şüalanmaya məruz qalan hissələri 4 - 5 il - dən sonra bərpa olunmağa başladı.

Çernobıldan iki dəfə çox çirklənməyə məruz qalmış Karaçay gölündən isə bizə bu gün kiçik bir gölməçə “yadigar” qalmışdır. Hələ də qurğuşun zirehli maşınlar gölün doldurulması üzrə işlər aparır. Göl tamamilə torpaqla doldurulduqdan və rekultivasiya işləri başa çatdıqdan sonra atmosfer havasının çirklənməsinin qarşısı, demək olar ki, tamamilə kəsiləcək və mütəxəssislər bundan sonra qrunut sularının “təmizlənməsi” işlərinə başlayacaqlar. Mütəxəssislər həm də Karaçay gölünün altında toplanmış bu bəlalı “radioaktiv linzanın” yığışdırılması üsulunu işləyib hazırlaya bilmişlər. Bu istiqamətdə görülməli işlər də öz növbəsini gözləyir.

2000 -ci ilin yayında yapon alimi, Radiasiya təhlükəsizliyi laboratoriyasının müdiri, Xerosima Universitetinin professoru Jon Tokado sensasiyalı bəyanatla çıxış etdi. Bu bəyanatda deyilirdi: “Çelyabinsk vilayəti ərazisində ciddi radiasiya aktivləşməsi yoxdur”. Qeyd edək ki, bu bəyanata qədər prof. J.Tokado bir neçə ay ərzində 1957 - ci il -dən qalmış “Radiasiya izi” adlanan ərazidə radiometrik ölçmə işləri aparmışdır. Söhbət, ilk növbədə, Teça çayından, Müslyumovo, Karbolka və Başakul kəndlərindən gedir. Qeyri rəsmi “problemlı” adını almış kəndlərin sakinlərinin sümük və diş emalları, onların yeyinti məhsulları, torpaq tədqiq olunmuşdur.

10.2. Atom enerjisi sənayesinin ekoloji problemləri.

Bu gün dünyada istehsal olunan elektrik enerjisinin ~ 17 % - i Atom Elektrik Stansiyalarının (AES - lərin) payına düşür. Bəzi ölkələrdə atom elektrik enerjisinin payı bir qədər də çoxdur. Məsələn, Fransa bütün elektrik enerjisinin ~ 80 % - ni, İsveç isə təxminən yarısını AES - lərdən alır. Çində yaxın gələcəkdə AES-lərdən alınan enerjinin 5 - 6 dəfə artırılmasına dair proqram qəbul edilmişdir. ABŞ və

Rusiyada AES - lər, aparıcı rola malik olmasalar da, nəzərəçarpacı çəki əmsallarına malikdirlər.

Təxminən 50 il əvvəl çoxlarının tanımadığı kiçik Obninsk şəhərində AES ilk elektrik cərəyanı verən zaman hesab edilirdi ki, bu enerji növü tamamilə təhlükəsiz və ekoloji təmiz enerji növüdür. Sonradan Amerikanın Trimeyl Aylend, yaxın keçmişdə Ukraynanın Çernobil və son zamanlar Yaponiyanın Fukusima AES -lərində baş verən qəzalar göstərdi ki, əsl həqiqətdə atom elektrik enerjisi böyük təhlükə yaratmağa qadirdir. Bu qəzalar insanları çox qorxutmuşdur. Ona görə də əksər ölkələrdə ictimaiyyət bu gün qətiyyətlə yeni AES -lərin tikilməsinə imkan vermir. Bu sahədə Şərqi Asiya ölkələri istisna təşkil edirlər. Belə ki, Yaponiya, Koreya, Çin kimi ölkələrdə atom enerjisi sənayesi sürətlə inkişaf edir.

Atom reaktorlarının zəif və güclü tərəflərinə yaxşı bələd olan fiziklər isə atom təhlükəsinə emosiyasız baxırlar. Onların fikrincə, toplanmış təcrübə və yeni texnologiyalar nəzərdən çıxma ehtimalı çox kiçik olan reaktorlar qurmağa imkan verir. Bu gün atom müəssisələrinin həm ayrı-ayrı otaqlarında, həm də reaktorun kanallarında radiasiya səviyyəsinə ciddi nəzarət həyata keçirilir. Əgər kiminsə üzərində radioaktiv "çirkin" kiçik izi belə olarsa, onda geyim kombinezonları, xüsusi ayaqqabılar, avtomatik şüalanma detektorları qapı jalyuzlərinin açılmasına imkan vermir.

AES - lərin təhlükəsizliyinin əsas məsələ olmasına baxmayaraq, Albert Eynşteynin sözləri ilə desək, " *bu gün bizi həmin ayaqqabı sıxmır*". Alimləri daha çox narahat edən atom sənayesinin günbəgün artan radioaktiv tullantılar problemi. Fukusima faciəsi göstərdi ki, hətta radioaktiv tullantı problemi həll olunmuş olsa belə, müasir texnologiyalar əsasında quraşdırılmış, təhlükəsiz və nəzərdən çıxma ehtimalı kiçik olan reaktorlar halında da fəlakət qaçılmazdır. Heç bir reaktor təbiətin "şiltaqlığından" və gözlənilməz təbii fəlakətdən sığortalana bilməz.

Atom energetikası problemi bu gün milyonlarla insanı narahat edir. Müxtəlif, bəzən də bir-birinə tamamilə zidd olan fikirlər söylənilir. Əgər bir qrup insanlar bu enerji növünün inkişaf etdirilməsinin tərəfdarı kimi çıxış edirsə, digərləri istismarda olan bütün AES - lərin ləğv edilməsini, yenilərinin isə tikilməməsinə tələb edirlər. Fəlakət olmayan halda belə, atom enerjisinin istehsalı radioaktiv maddələrin müntəzəm olaraq biosferə daxil olmasına səbəb olur. Belə ki, AES - lər nüvə istilik tsikli adlanan möhtəşəm istehsalat kompleksinin bir hissəsidir. O, uran filizinin çıxarılması, uran birləşmələrinin alınması, zənginləşdirilməsi və onlardan atom reaktorlarında istifadə edilməsi, şüalanmış nüvə yanacağıının təkrar emalı kimi prosesləri həyata keçirən bir sıra mərhələləri özündə birləşdirir.

Əgər nüvə istilik tsiklinə bir qədər ətraflı baxsaq, onda görərik ki, əvvəlcə uran filizi açıq və ya şaxta üsulu ilə çıxarılır və uran şaxtası və ya uran karxanasından çox da uzaqda yerləşməyən zənginləşdirici fabriyə daşınır. Aydın ki, həm karxana və şaxtalar, həm də fabrikələr radioaktiv maddələr mənbəyi rolunu oynayır. Mədənlər qısa müddətli çirklənmələr yaratsa da, zənginləşdirici fabrikələr radioaktiv maddələrə malik böyük miqdarda tullantılar əmələ gətirir. Mütəxəssislərin hesablamalarına görə 2000 -

ci il -ə qədər yer kürəsində 500 mln. ton radioaktiv tullantı toplanmalı idi (*Коллупер Дж., Хьюитт Дж., 1989*). Bu tullantılar atom energetikası ilə əlaqəsi olan insanlar üçün əsas şüalanma mənbəyidir və milyon illər ərzində, effektiv şüalanma mənbəyi olaraq qalacaqdır. Praktiki olaraq, bu tullantılardan yaxa qurtarmaq mümkün deyil. Ən yaxşı halda, onu çəpərləməklə, üzərini asfalt və ya polivinilxlorid tərkibli polimer materialla örtməklə izolə etmək olur ki, bu da, aydındır ki, effektiv mühafizə hesab oluna bilməz.

Növbəti mərhələdə zənginləşdirici fabrikin məhsulu olan uran konsentratı xüsusi zavoda daşınır və orada emal və təmizlənmə prosesinə məruz qalır. Beləliklə də, son nəticədə nüvə yanacağı alınır. Burada da tullantısız keçinmək mümkün olmur. Bu prosesdə əsasən qazşəkilli və maye formasında tullantılar yaranır. Bu mərhələdə tullantıların yaratdığı radioaktiv şüalanma, mədən və fabrikdə əmələ gələn tullantıların şüalanması ilə müqayisədə az olur.

Son mərhələdə zavodda alınmış nüvə yanacağı təyinatı üzrə AES -lərə çatdırılır. Burada radioaktiv tullantıların miqdarı verilmiş AES -də hansı reaktordan istifadə olunmasından asılı olur. Bu gün müxtəlif ölkələrdə istismarda olan energetik reaktorları beş əsas növə bölmək olar. Əvvəlki fəsillərdə qeyd etdiyimiz kimi, bunlar su-qrafit kanallı reaktorlar, su-sulu reaktorlar, qazla soyudulan reaktorlar, ağır sulu reaktorlar və sürətli neytronlarla işləyən reaktorlardır.

Su-qrafit kanallı reaktorlardan yalnız Rusiyada və MDB dövlətlərində istifadə edilir. Ən geniş yayılmış reaktorlar su-sulu reaktorlar, təzyiq altında sulu və su-sulu qaynayan reaktorlardır ki, bunlar da ABŞ - da işlənilib hazırlanmışdır. Böyük Britaniyada və Fransada işlənilib hazırlanan və elə həmin ölkələrin özlərində istifadə olunan reaktorlar qazla soyudulan reaktorlardır. Kanadada ağır sulu reaktorlar geniş yayılmışdır. Son nəsil nüvə reaktorları sürətli neytronlarla işləyən reaktorlardır. Bu gün Avropada belə dörd reaktor fəaliyyət göstərir.

Qeyd edək ki, AES - lərdə istismar müddətini başa vurmuş nüvə yanacağının təxminən onda biri uran və plutoniumu ayırmaq məqsədi ilə təkrar emala göndərilir. Aydın ki, bu halda da radioaktiv maddələrin sızması problemi mövcuddur.

Nüvə-energetik proses radioaktiv tullantıların basdırılması ilə sona çatır.

Dediklərimizdən aydın olur ki, atom enerjisi sənayesinin bütün mərhələləri ətraf mühitin təbii və süni radioaktiv maddələrlə çirklənməsinə səbəb olur.

Uran müxtəlif ölkələrdə (Kanadada, Fransada, Cənubi Afrika Respublikasında, ABŞ - da, Rusiyada və s.) çıxarılan filizdən ayrılır. Uranın istehsalı üçün konsentrasiyası 0.1 - 3 % olan filizdən istifadə edilir. Bu zaman filizdə uranın konsentrasiya aktivliyi, ətraf mühit üçün xarakterik olan aktivliklə müqayisədə, 1000 dəfələrlə yüksək olur və əsas ətraf mühit çirkləndiricisi rolunu filiz yatağından ayrılan radon qazı oynayır.

1990 -cı ildə uran istehsalı 120 min ton təşkil edirdi.

AES -lərin fəaliyyəti də müəyyən miqyasda ətraf mühitin çirklənməsinə səbəb olur. Radioaktiv maddələrin biosferə atılması, ilk növbədə, reaktorun germetikliyinin pozulması ilə əlaqədar olur. Bu zaman radioaktiv sızmaların miqdarı müxtəlif

reaktorlar üçün geniş intervalda dəyişə bilir və biosferə düşən radionuklidlərin bəziləri tez parçalanırlar, digərləri isə uzun müddət orada qalırlar.

AES -lərə münasibətlərin müxtəlif olmasına baxmayaraq, onların yaxın illərə qədər fəaliyyətdə olması obyektiv reallıqdır. Bizim hər birimizi, əsasən də AES -lərə yaxın ərazilərdə yaşayanları bu reallığın nə dərəcədə təhlükəli olması narahat edir. Çernobil AES -də, daha sonra Fukusimo AES -də baş verən qəzalar bu problemin nə dərəcədə ciddi olduğunu bir daha sübut etdi. Vəziyyəti daha da kəskinləşdirən digər səbəb hələ ki, real vəziyyəti əks etdirən dəqiq "şkala" -nın olmamasıdır. Bu səbəbdən də AES -də baş verən istənilən kiçik nasazlıq əhəlinin kəskin reaksiyasına səbəb olur. Hətta plan üzrə reaktorun hansısa profilaktik tədbirlər üçün dayandırılması da etirazlar və söz-söhbətlər yaradır.

1989 -cu ildə Atom Enerjisi üzrə Beynəlxalq Agentliyin (AEBA -nın) himayəsi ilə "Beynəlxalq şkala" işlənib hazırlandı və 1990 -cı ildə bəzi ölkələrdə artıq tətbiq olunmağa başlandı. Şkala aşağıdakı 7 səviyyəyə malikdir:

1. AES -də baş vermiş əhəmiyyətsiz hadisə;
2. Orta ağırlıq dərəcəsinə malik hadisə;
3. Ciddi hadisə;
4. AES-in öz hüdudlarında qəza;
5. Ətraf mühit üçün təhlükə riski olan qəza;
6. Ağır qəza;
7. Qlobal qəza (fəlakət).

AES -lərdə ilk üç səviyyədə baş verən hadisə, sadəcə olaraq, insident (hadisə) adlandırılır. Qalan dörd səviyyədə baş verən hadisələr isə müxtəlif dərəcəli qəzalar adlandırılır. Məsələn, Çernobil fəlakəti atom energetikasında görünməmiş qəza idi. Bu qəza böyük ərazidə ətraf mühitə və insanların sağlamlığına ciddi zərər vurdu. Buna görə də həmin qəza şkalasının sonuncu səviyyəsinə uyğun gəlir.

10.3. Atom elektrik stansiyalarında qəzalar.

Dünya atom energetikasının inkişafı AES -lərdə baş verən üç böyük miqyaslı qəza ilə "ləkələnmişdir". Bu qəzalardan birincisi 28 mart 1979 -cu ildə ABŞ -in Trimeyl Aylend AES -ində, ikincisi 26 aprel 1986 -cı ildə Ukraynanın Çernobil AES -ində, üçüncüsü isə 11 mart 2011 -ci il tarixində Yaponiyanın "Fukusima - 1" AES -ində baş vermişdir. Əvvəlki iki qəza nəticəsində reaktorun aktiv zonası dağılmışdır.

Tri Mayl Aylend AES -nin 2 sayılı blokunda qəza vaxtı radioaktiv maddələrin, demək olar ki, hamısı mühafizə örtüyü tərəfindən tutulmuşdur və buna görə də AES -in işçi personalı və əhali şüalanmaya məruz qalmamışdır.

Çernobil AES -də qəza nəticəsində isə radiasiyanın təsirindən və psixoloji stressdən yüz minlərlə insan zərər çəkmişdir. Çernobil AES -in dördüncü blokunun partlaması ətraf mühitə 7.4 ton radioaktiv maddənin səpələnməsinə səbəb olmuşdur. İlk həftələr əhali üçün əsas təhlükəni xarici γ - şüalanma və atmosferdə *yod-131* izotopunun olması yaratdı. Həqiqətən də qəzadan bir neçə gün sonra havadan, sudan,

torpaqdan götürülmüş nümunələr ümumi aktivliyin $\sim 30\%$ -nin yarımparçalanma periodu 8 sutka olan *yod -131* izotopunun payına düşdüyünü göstərdi. Nümunələrdə, *yod -131*-dən başqa, *barium - 140*, *lantion-140*, *sezium - 137*, *rutenium - 103*, *sirkonium - 95*, *tellur - 132*, *sezium - 141*, *neptunium - 239* izotoplarının da olması müəyyən edildi. Yaxın ərazilərdə isə (məsələn, ə halinin köçürülmə yerlərində) həm də *stronsium - 90*, *plutonium - 239* və *plutonium - 240* izotoplarının da olması aşkar edildi. Bu səbəbdən də ilk günlər insanlar (əsasən də uşaqlar) üçün daha çox təhlükə yaradan orqanizmə nəfəs yolları və südlə daxil olan *yod - 131* izotopu oldu.

Qəzadan sonra torpağın radionuklidlərlə çirklənmə sıxlığını əks etdirən xəritə tərtib olundu. Bu xəritəyə əsasən radiasiya çirklənməsi səviyyəsi 20 mR/saat -dan yüksək olan ərazilər "*kənarlaşma zonası*", γ - şüalanma dozası $5\text{-}20 \text{ mR/saat}$ olan ərazilər "*evakuasiya zonası*", radiasiya səviyyəsi $3\text{-}5 \text{ mR/saat}$ olan ərazilər isə "*ciddi radioloji nəzarət tələb edən və müvəqqəti olaraq uşaq və hamilə qadınların çıxarıldığı zona*" hesab olundu.

Qeyd edək ki, 30 aprel 1986 -cı ildə Kiyev şəhərinin Elm prospektində radiasiya səviyyəsinin maksimal (2.2 mR/saat) olması qeydə alınmışdır.

Hələ 1987 -ci ildə SSRİ Dövlət Atom Komitəsi Pripyatidə (Çernobılda) baş verən partlayışın 300 Xirosima bombasının partlayışına bərabər olması qərarını vermişdi. Xarici mütəxəssislər isə bu rəqəmin 800 -ə bərabər olması fikrini söyləyirdilər. Bu rəqəmlərdən hansının doğru olması mübahisə obyektı olmamalıdır. Əsas odur ki, qəza nəticəsində yüzlərlə növ müxtəlif izotopun ətrafa səpələnməsi baş verdi və nəticədə hava, torpaq, su çirkləndi, insanlar həlak oldu və s.

AEBA -nın ekspertlərinin gəldiyi nəticələrə əsasən qəzaya səbəb reaktorun aktiv zonasının, həm də reaktorun dayandırma sisteminin konstruksiyalarında çatışmamazlıqlar olmuşdur.

Qeyd etmək lazımdır ki, qəzanın baş verməsində AES -in işçi personalının səhvi sadalanan çatışmamazlıqlarla müqayisədə daha həlledici olmuşdur.

10.4. Çernobil fəlakətinin qlobal nəticələri.

Biz 26 aprel 1986 -cı il gecəsindən nə qədər uzaqlaşırıqsa, həmin hadisənin nəticələrinə daha çox yaxınlaşmış oluruq. Məlum olduğu kimi, AES ətrafında ərazinin radioaktiv çirklənməsi 186 yaşayış məntəqəsindən 116 - nın əhalisinin köçürülməsinə səbəb oldu. İnsanların ayrı - ayrı orqanları radioaktiv *yod - 131* izotopunun təsiri ilə böyük şüalanma dozası qəbul etdilər. Daha dəqiq desək, radioaktiv çirklənmə zonasında yaşayan 1.5 mln. insanın qalxanvari vəzisinin şüalanmasına görə onların 1.2 mln. nəfəri 30 ber -ə qədər, 150 min -i 30 ber - dən 100 ber - ə qədər, 30 min – i isə 100 ber - dən yüksək daxili şüalanma dozası qəbul etdilər.

Qəzaya qədər Çernobil AES -ə yaxın ərazilərdə təbii radiasiya fonu $0.1\text{-}0.15 \text{ mkZv/saat}$ ($10\text{-}15 \text{ mkber/saat}$) həddində olduğu halda, əhalinin köçürülməsinə qədər Pripyati şəhərində radiasiya səviyyəsi 3-4 ber həddində olmuşdur.

Qəza nəticəsində ətrafa atılan radioaktiv maddələrin 20 % - i *yod-131* ($T_{0.5}=8.1$ sutka, $E_{\beta}=0.61$ Mev, $E_{\gamma}=0.16-0.70$ Mev), 13 % - i *seziyum - 134* ($T_{0.5}=2.3$ il, $E_{\beta}=0.66$ Mev, $E_{\gamma}=0.8-2.0$ Mev), 4 % - i *stronsium - 90* ($T_{0.5}=28$ il, $E_{\beta}=226$ Mev) və digər izotoplardan ibarət olmuşdur.

İnsanların radioaktiv şüalanmaya məruz qalmasının əsas səbəbləri partlayış zamanı yaranmış radioaktiv buludla yanaşı, yerin və bitkilərin səthinə çökmüş qamma şüalanma çirklənməsi, həmçinin də nəfəs və qida yollarına daxil olmuş radionuklidlər olmuşdur.

Qısa müddət ərzində radiasiyanın təsirinə məruz qalmış rayonların əhalisi üçün ümumi fərdi şüalanma dozasının "qəza hədləri normaları" müəyyən edildi. Bu normalara əsasən ayrı-ayrı insanlar birinci il 10 *ber* -ə (5 *ber* xarici, 5 *ber* isə daxili) qədər, ikinci il 3 *ber*, üçüncü il isə 2.5 *ber* şüalanma dozası qəbul edə bilirdilər. Qeyd edək ki, artıq 1988-ci ilin payızına yaxın əhalinin əksər hissəsinin fərdi şüalanma dozası, daxili şüalanma da nəzərə alınmaqla, orta hesabla 5.3 *ber* təşkil edirdi. Əhalinin orta illik şüalanma dozası ~ 120 *mber* -ə bərabər idi.

Kompleks dezaktivasiya işləri aparıldıqdan sonra, ərazilərin əsas çirklənmə komponentlərinin *seziyum - 137* və *stronsium - 90* kimi uzunyaşama müddətli radionuklidlər olması nəzərə alınaraq, 1988 -ci ilin noyabrında SSRİ Səhiyyə Nazirliyi qəza nəticəsində radioaktiv çirklənməyə məruz qalmış ərazilərdə yaşayan əhalinin ömürlük şüalanma dozası həddini müəyyən edən qərar qəbul etdi. Bu qərara əsasən, ömürlük müddət qəza baş verən andan 2060 -cı ilə qədər, ömürlük doza həddi isə 35 *ber* müəyyən edildi.

Qeyd edək ki, dozanın bu həddi müəyyən edilərkən *seziyum - 137* izotopuna görə ərazinin təhlükə yaratmayan çirklənmə norması 15 Ku/km^2 qədər götürülmüşdür. Çirklənmiş ərazidə müxtəlif xarakterli işlərin görülməsi zamanı, o cümlədən dezaktivasiya işləri aparılarkən, tibbi nəzarətdən keçərkən, aqromeliorativ tədbirləri həyata keçirərkən 35 *ber* - lik doza həddi nisbətən yüksək (40 Ku/km^2) norma ilə təmin olunur.

Qəza nəticəsində uşaqlarda qalxanvari vəzi şüalanmanın daha yüksək təsirinə məruz qalmışdır. 1993 - cü ildə Ukraynanın Radiasiya Təbabəti İnstitutunun əməkdaşları radioaktiv çirklənməyə məruz qalmış ərazilərin uşaqlarının qalxanvari vəzilərinin zədələnmə dərəcəsini müəyyənləşdirərkən aydın olmuşdur ki, bu xəstəliyə təxminən 1.5 *mln.* uşaq düçar olmuşdur.

Bu gün çirklənmiş ərazilərdə ümumi radiasiya fonu kiçik yaşama müddətli izotopların parçalanması hesabına azalmışdır. Buna baxmayaraq, bu gün böyük yaşama müddətli *seziyum-137*, *stronsium-90*, *plutonium-239*, *uran-238* kimi izotoplar özünü tam açıqlığı ilə göstərməkdədir. Məsələn, atmosfərə daxil olan *plutonium-239* izotopunun miqdarı 15 *kq* -a yaxındır ki, bu da həmin izotopun Xirosimada bomba partladılması zaman əmələ gələn miqdarından ~ 20 dəfə çoxdur. *Seziyum-137* izotopunun konsentrasiyası isə məcburi məskunlaşma zonasında hər kvadrat kilometrə onlarla *Küri* - dir. Bunları *uran - 238* və *stronsium - 90* üçün də söyləmək olar. Fəciədən bir il sonra 30 *km* - lik kənarlaşma zonasında suyun tərkibində

stronsium - 90 izotopunun həllolunabilən forması qeydə alındı. Bundan 2 il sonra isə bu zonanın torpaq suyunda *plutonium-241* izotopunun həllolunabilən və kolloid fraksiyaları aşkar edildi. Təəccüb doğuran odur ki, adı çəkilən fraksiyalar təbii şəraitdə mövcud olmur. Belə çıxır ki, bunlar insanın əməli fəaliyyətinin məhsullarıdır.

Plutonium - 241 yüksək toksiki xassəli elementdir və onun yarımparçalanma periodu 24 min il -dir. Amerika alimlərinin nəticələrinə əsasən bu elementin 10^{-4} q -nin orqanizmə daxil olması ağ ciyər xərçənginin yaranmasına səbəb olur.

Elmi ictimaiyyəti indi daha çox Çernobil qəzasının başqa bir fəlakətə - yeni uzunyaşama müddətli *amerisium* - 241 izotopunun yaranmasına gətirib çıxarması narahat edir. Tibbi göstəricilərinə əsasən bu izotop *plutonium* - 239 izotopu ilə müqayisədə dəfələrlə təhlükəlidir. Yarımparçalanma periodu 433 il olan bu radionuklid, ilk dəfə olaraq, Çernobil AES-in yaxınlığındakı meşədə, demək olar ki, bütün ağac növlərində (palıddə, şabalıddə, şamda, alma ağacında) aşkar edilmişdir.

Qəza nəticəsində Rusiya Federasiyasının Belqorod, Bryansk, Varonej, Kaluqa, Kursk, Arlov, Leninqrad, Ryazan, Tambov, Tula, Penza, Smolensk, Ulyanovsk vilayətlərinin əraziləri radionuklidlərlə bu və ya digər dərəcədə çirklənməyə məruz qalmışdır. Belarusiya və Moldova Respublikalarının əraziləri də müəyyən dərəcədə çirklənmişdir. Ümumilikdə götürdükdə çirklənmiş ərazilərdə bu gün 2.34 mln. insan yaşayır.

Rusiya Federasiyasının radionuklidlərlə çirklənmiş ərazilərində yaşayan insanların təxminən 70 % -nin həkim - endokrinoloqların köməyinə ehtiyacı vardır. Yaxın 5-10 illər ərzində bu regionlarda qalxanvari vəzinin xərçənglə xəstələnmə sayının, autoimmun xəstəliyinin və s. artması gözlənilir.

1992 - ci ilin başlanğıcında Rusiya Federasiyasının səhiyyə müəssisələrində Çernobil AES - də qəza nəticəsində radiasiya təsirinə məruz qalmış 1 mln. 367 min insan qeydə alınmışdır.

10.4.1. Çernobil "sarkofaqı" bu gün. Çernobil AES - də qəza nəticəsində dağılmış dördüncü blok beton sarkofaqa salınmış və bu günəqən onun vəziyyətinə minlərlə mütəxəssis nəzarət edir. Sarkofağın divarlarının bir çox yerində fasiləsiz hava nümunələri götürən və atmosferdə radioaktiv aerosolların miqdarını müəyyən edən qurğular quraşdırılmışdır. Fasiləsiz kontrol ölçmələr sarkofağın ərazisində havanın çirklənməsinə nəzarət etməyə imkan verir.

Sarkofağın daxilində baş verən prosesləri izləmək üçün İ.V.Kurçatov adına Atom Enerjisi İnstitutunun Kompleks Ekspedisiyasının üzvləri onun müxtəlif yerlərində çuxurlar açmış və həmin yerlərdə 100 müxtəlif datçik və videotexnika yerləşdirmişlər. Bu günə qədər alınan nəticələr zəncirvari reaksiyanın olma ehtimalının sifra yaxın olmasını göstərsə də, bəzi hallarda datçiklər neytronların sayının kəskin artmasını göstərir. Qeyd edək ki, dediklərimiz bu günə olan məlumatlardır. Nəzərə alsaq ki, sarkofaq altında 150 ton nüvə yanacağı yatır, onda yaxın gələcəkdə nələrin baş verə biləcəyini heç cürə praqnozlaşdırmaq mümkün deyil. Əlavə olaraq, həm yerli, həm də əcnəbi alimləri ən çox narahat edən grunt sularının radioaktiv çirklənməyə məruz qala

bilməsi qorxusudur. Örtüyün germetikliyi də narahatlıq doğurur. Belə ki, sarkofaq tələsik və müəyyən məsafədən idarə olunmaqla tikildiyindən bu gün onun üzərində çoxlu deşik və çatlar əmələ gəlmişdir. Düzdür, alimlərin sarkofaqda qalan nüvə yanacağıının təhlükəsiz olması fikrini söyləmələrinə baxmayaraq, çat və deşiklərə düşən suyun erroziya yarada bilməsi və bununla da uran birləşmələrinin həllolunabilən komponentlərə çevrilə bilməsinin mümkünlüyü gələcək təhlükədən xəbər verir. Həmçinin də, qəza bloğunun hər yerinə datçiklər yerləşdirmək mümkün olmadığından sarkofağın bəzi yerləri tədqiq olunmamış qalır.

Beləliklə bu gün Çernobil sarkofağı möhtəşəm bir abidədir. Elə bir abidə ki, o, insanlara mikroaləm hadisələrinə *“ağır çəkilə”* yanaşmağın mümkün olmadığını xatırlatdı və göstərdi ki, idarə olunan zəncirvari nüvə reaksiyaları xidməti personaldan yüksək dəqiqliyə malik əmək və texnoloji intizam tələb etməklə yanaşı, həm də AES - lər üçün reaktorlar konstruksiya edən mütəxəssis və alimlərdən yüksək kompetentlik tələb edir.

10.4.2. Çernobıldan yeni bir zərbə. Moskva alimləri hələ XX əsrin 60 - cı illərində radioaktiv şüalanmanın insanın ürək, qaraciyər və beyini zədələyə bilməsinə dair fikir söyləmişdilər. Çernobil AES - də qəzanın nəticələrinin aradan qaldırılması ilə məşğul olan işçilər (likvidatorlar) üzərində aparılan tədqiqatlar bu fikri sübut etdi. Ukraynanın Sosial və Məhkəmə Psixiatriya Elmi Tədqiqat İnstitutunun əməkdaşları həmçinin də göstərdilər ki, insan beyininin atrofiyasını əmələ gətirən minimal şüalanmanın doza həddi hələ də məlum deyil. Belə ki, *“Çernobil ağır zəifliyi”* təkcə likvidatorlarda deyil, həm də kənarlaşma zonasında olanlarda da müşahidə olunmuşdur. Bu xəstəliyə təkcə böyüklər deyil, həm də qəzadan bir neçə il sonra doğulmuş uşaqlar da düçar ola bilirlər.

1987 - ci ildə likvidatorları müayinə edən psixiotorlar radiasiyanın beyin neyronları üçün nə dərəcədə qorxulu olmasını heç fikirlərinə belə gətirmirdilər.

Çernobil, qəzadan bir neçə il sonra likvidatorların ailəsində doğulmuş uşaqlara da zərbə vurdu. Bu uşaqlar üçün psixi kənarçıxmalarla yanaşı, öz intellektlərindən istifadə edə bilməmək, yüksək qıcıqlanma və tutulma halları, kəskin baş ağrıları da xarakterikdir. Hansısa səbəbdən bu uşaqlar öz valideynlərini (əsasən də, atalarını) görmək istəməirlər. Bu uşaqlarda tez - tez bir neçə saniyə davam edən tutulmalar baş verir və onlar sonradan heç bir şey olmamış kimi oyunlarını davam etdirirlər. Beyin epilepsiyasının bu əlamətlərinin təzahür mexanizmləri hələ də alimlərə məlum deyil.

10.4.3. “Ölü zonadan” xəbərlər. Çernobil qəzasından daha çox zərər çəkmiş və mütləq kənarlaşma zonasına daxil edilən ərazilərdən biri də *“Poleski ekoloji radiasiya qoruğu”* -dur. Bu qoruq Belarusiya ilə sərhəddə yerləşir və buradan Çernobil sarkofağını, fəaliyyətdə olan AES - i və həyatsız, boş Pripyat evlərini adi gözlə belə görmək mümkündür. Bu gün Çernobil AES - də radiasiya səviyyəsinin norma daxilində ($\sim 20 \text{ mkr/saat}$) olmasına baxmayaraq, qoruğun yaxınlığında yerləşən və Çernobıldan

cəmi 10 km məsafədə olan Masana kəndində isə cihazın göstərişi 1000 - lik şkalanı keçir. Qeyd edək ki, bu heç də qoruyqda olan ən "çirkli" yer deyildir.

Hesab olunur ki, hər kvadrat kilometrə 15 Ku -yə bərabər radiasiya səviyyəsi həmin ərazidə insanın yaşamasını qeyri-mümkün edir. Qoruğun ərazisi isə 15 - 1200 Ku/km² - ə bərabər radioaktivliklə xarakterizə olunur. Əlavə olaraq, bu, Xirosima və Naqasaki şəhərlərinin əhalisinə zərbə vuran radiasiya deyil. Burada - zəngin subasar zəmilərdə, meşə massivlərində, atılmış kəndlərdə böyük miqdarda *stronsium*, *sezium* və *plutonium* kimi böyükyaşama müddətli radionuklidlər toplanmışdır. Belə olan halda buraya həyat yüz ildən, beş yüz ildən sonra deyil, ayrı-ayrı ərazilərdə min ildən sonra qayda bilər.

Maraqlıdır ki, bunları vəhşi heyvanlara aid etmək olmur. Elmə, elm adamlarına hörmətsizlik kimi səslənsə də, qeyd etmək lazımdır ki, radiasiya burada vəhşi heyvanlar üçün rahat yaşamaq şəraiti yaratmışdır. İnsanın ərazini tərk etməsi oraya vəhşi heyvanların qayıtmasına səbəb olmuşdur. Hətta 10, 100 il əvvəl ərazini tərk etmiş vəhşilər geri qayıtmışlar. Məsələn, zublər (vəhşi buğalar), qara hacileyək, vaşaq, dəniz qartalları, həmçinin də, qabanlar, cüyür, sığın, maral kimi heyvanlar ərazidə görünməyə başlamışlar. Ot basmış söyüdlük və qızılğac cəngəlliklərindən müxtəlif quş səsləri eşidilməyə başlamışdır. Hətta bir dəfə zooloqları təəccübləndirən hadisə də baş vermişdir. Quruya yüzlərlə nadir bataqlıq tısbəğaları sürünüb çıxmışdır.

Quş və vəhşi heyvanların yerlərini dəyişdiyini nəzərə alsaq, onların "*radiasiya daşıyıcıları*" olması fikrini söyləmək olar. Hətta ağırçəkili qaban belə gündə yüz kilometrərlə məsafə qət edə bilər. Deməli, əgər o, bu gün buradadırsa, sabah Qomel, Minsk, Kiyev və yaxud da Smolensk yaxınlığında ovçu nişangahına tuş gələ bilər. Ovçu isə, aydındır ki, bu vəhşidə radiasiyanın normadan 3000 dəfəyə qədər yüksək olmasından xəbərsizdir.

"Şərti 30 km - lik zonadan" kəndlərin sakinlərinin bir neçə gün ərzində köçürülməsinə baxmayaraq, bir qrup insanlar (meyvə və göbələk yığanlar, ovçular, balıqçılar və s.) geri döndülər. Bu günə qədər də, ciddi mübarizə aparılmasına baxmayaraq, bu cür brakonyerlər seli azalmır.

Çernobil faciəsi kimi, Poleski qoruğu da bənzərsizdir. Belə bir ərazi dünyanın heç bir yerində yoxdur və inanırıq ki, heç bir zaman da olmayacaqdır. Elmi cəhətdən qoruq ona görə böyük əhəmiyyət kəsb edir ki, orada da, təmiz ərazilərdəki kimi, rahat yaşamaq, üzmək, gəzmək, doğulmaq və ölmək mümkündür.

10.4.4. Qəzanın min illiyə uzanan tibbi nəticələri. Çernobil Xirosimadan sonra ən böyük dünyəvi nüvə faciəsidir. Bu faciənin tibbi nəticələri artıq görünməkdədir. Məlumdur ki, Çernobilda partlayışdan ən çox zərər çəkənlər 30 km - lik zonada və çöküntü çox olan yerlərdə yaşayanlar, qəzanın nəticələrini aradan qaldıran likvidatorlar və qəzanın nəticələrini öyrənən mütəxəssislər olmuşdur. Təbii ki, onlar müəyyən şüalanma dozası almış insanlardır. Belə dozalar kəskin şüa xəstəliyi yarada bilməsələr də, onlar hüceyrənin radiasiyaya daha çox həssas olan xromosomlarında mutasiya yarada bilərlər. Mutasiyalar isə, öz növbəsində, canlı orqanizmin müxtəlif

stoxastik pozulmalarını yaradır. Sonuncuya xərçəng və irsi pozulmalar aid edilə bilər. Şüalanma qəbul etmiş insanlarda xərçəng şişləri qəzadan sonra qısa müddətdə deyil, uzun illər inkişaf edərək, gizli, simptomsuz böyük dövr ərzində yarana bilər.

Qeyd edək ki, Çernobil qəzasından 5 il sonra müşahidə olunmağa başlamış ilk xərçəng xəstəliyi növü qalxanvari vəzinin xərçəngi oldu ki, bunun da səbəbi qəzadan sonra havada, qida məhsullarında, mal - qaranın südündə böyük miqdarda radioaktiv yodun olması və son nəticədə onların insan orqanizminə daxil olaraq, məhz qalxanvari vəzidə toplanması olmuşdur.

Latent periodu qəzadan 10 il sonra başa çatmış növbəti xərçəng növü leykoz olmuşdur. Bu xərçəng növünün yaranmasına səbəb radiasiyaya daha çox həssas olan orqanın – onurğa beyninin funksiyasının pozulmasıdır.

Çernobil qəzasından 15-20-30-40 il keçdikdən sonra, Xirosimaya oxşar olaraq, xərçəng xəstəliyinin başqa növləri (süd vəzilərinin, ağ ciyərin, mədə və bağırsaqların xərçəngi) özünü biruzə verməyə başlayacaq. Cinsi orqanların şüalanması da ağır nəticələrə səbəb olacaq. Belə ki, artıq qeyd etdiyimiz kimi, hətta çox da böyük olmayan dozalar (0.1 Zv) qadınların yumurtalıqlarında müvəqqəti sterillik yaratmağa qadirdir. Baxmayaraq ki, qəzadan zərər çəkənlərin çox hissəsi 0.1 Zv - dən az doza qəbul etmişlər, yenə də onların uşaqları xromosom mutasiyaları hesabına cinsi hüceyrələrin yüksək xəstələnmə riskinə malikdirlər. Sonuncu 10 il - də Belarusiyada doğulan uşaqların yarısından çoxunun inkişaf qüsuruna malik olması buna əyani sübutdur (Qomel vilayətində bu rəqəm 81 % təşkil edir) (Усманов С.М., 2001).

BMT - nin Atom Radiasiyasının Təsirinə dair Elmi Komitəsinin məruzələrinə daxil edilmiş çoxlu sayda vacib tədqiqat işlərinin nəticələrinə əsasən kişilərin 1.0 Zv tərtibində şüalanmaya məruz qalması onların sonrakı nəslinin hər on min nəfərində 30 - a qədər irsi anomaliyalar yarada bilər. Qadınların cinsi hüceyrələri radiasiyanın təsirinə daha dayanıqlı olduğundan, onlarda bu göstərici 20 - ə bərabərdir. Konkret olaraq, Pripyat şəhərinin sakinləri üçün (orta doza – 0.13 Zv) bu, onların hər on min uşağında 7 - 46, sarkofakın inşasında iştirak edənlər üçün (orta doza 0.35 Zv) – 17 - 121, Çernobil AES - in əməkdaşları üçün isə (orta doza 0.47 Zv) – 24 - 166 əlavə irsi anomaliya deməkdir (НКДАР, 1977).

Tədqiqatlar nəticəsində həmçinin də bu qəzada zərər çəkmişlərin hamısının ümumi şüalanma dozası üçün istifadə olunan genetik riskin həddləri müəyyən edilmişdir. Bu rəqəm 600 min insan /Zv - ə bərabərdir. Bu hesablamalara əsasən birinci nəsilə gözlənilən genetik risk bütün zərərçəkmiş ölkələr üçün 1200 - 8300 - ə bərabər olacaqdır ki, bunun da 480 – 3300 - ü keçmiş SSRİ - nin tərkibinə daxil olan ölkələrin payına düşür (НКДАР, 1977).

Qeyd edək ki, göstərilən rəqəmlər təqribi nəticələrə əsaslanıb və bu hesablamalarda yalnız hazırkı dövrdə insanın irsi patologiyasında aşkar edilən bütün patologiyaların 2.5 % - ni təşkil edən ayrı-ayrı ciddi irsi pozulmalar nəzərə alınmışdır. Bu nəticələrdən aydın olur ki, qəzadan 20 il keçdikdən sonra birinci nəsilə Belarusiyada, Rusiyada və Ukraynada hər üç gündən bir ata və ya ananın şüalanmaya

məruz qalma səbəbindən bir xəstə uşaq doğulmalıdır (*Барсуков О.А., Барсуков К.А., 2003*).

10.5. Nüvə silahlarının bilavasitə istifadəsinin və onların sınaqdan keçirilməsinin yaratdığı ekoloji problemlər

Məlum olduğu kimi, nüvə partlayışları biosferin yüksək dərəcədə çirklənməsinə və radiasiya fonunun əhəmiyyətli dəyişməsinə səbəb olur. Bu partlayışlar nəticəsində bizim hər birimiz atmosfərə atılan radionuklidlərin həm bilavasitə özlərinin, həm də onların global çöküntülərinin hesabına şüalanmaya məruz qalırıq. Kütləvi mətbuatda çap olunan məlumata əsasən, 1945 - ci ildən 1981 - ci ilə qədər ABŞ, Rusiya, Böyük Britaniya, Fransa və Çin kimi ölkələr atmosferdə 400 - dən çox nüvə partlayışları aparmışlar ki, nəticədə biosferə 12.5 ton - dan çox radioaktiv parçalanma məhsulu atılmışdır (müqayisə üçün qeyd edək ki, Xirosima üzərində atom bombasının partladılması nəticəsində 1.1 kq parçalanma məhsulu ayrılmışdır). Partlayışlar nəticəsində biosferə, həm də 3.4 ton plutonium və bir az kiçik miqdarda digər transuran elementlər atılmışdır. Hava nüvə partlayışı anında yaranan neytronların hava atomlarının nüvələri ilə qarşılıqlı təsirdə olması əlavə olaraq, hidrogen və karbonun radioaktiv izotoplarının yaranmasına səbəb olur. Hesablamalar bu halda radioaktiv hidrogenin (tritiumun) yaranmasının onun tarazlıq miqdarından 3 dəfə, radioaktiv karbonun isə 26% çox olduğunu göstərir (*Усманов С.М., 2001*).

Qeyd edək ki, nüvə partlayışları zamanı yüzlərlə nüvə qəlpələri yaranır, lakin onların bir qismi çox kiçik miqdarda olduğundan əhəmiyyətli təhlükə yarada bilmir. Digər qismi isə kiçik yarımparçalanma periodlarına malik olduqlarından tez bir zamanda parçalanırlar. Təəssüf hissi ilə qeyd etmək lazımdır ki, partlayış nəticəsində yaranan böyük yaşama müddətli radionuklidlər də kifayət qədər çox miqdarda olur. Bunlardan ən geniş yayılanları müxtəlif yarımparçalanma periodlarına malik *karbon-14, sezium-137, sirkonium-95 və stronsium-90* radioizotoplarıdır. *Sirkonium* üçün yarımparçalanma periodu 64 gün, *sezium* və *stronsium* üçün təxminən 30 il, *karbon* üçün isə 5570 il -ə bərabərdir.

Partlayış nəticəsində yaranan və tərkibində nüvə reaksiyaları məhsulları olan radioaktiv bulud, partlayışın gücündən, onun növündən (hava, yerüstü, sualtı), sınağın keçirilmə yerindən və meteoroloji şəraitdən asılı olaraq, böyük hündürlüklərə qalxa bilər. Partlayış məhsullarının stratosferdə qalma müddəti 3 ay -dan 24 ay -a qədər uzana bilər. Bu zaman onların ən intensiv çökmə periodu yaz aylarına təsadüf edir. Partlayışdan sonra radionuklidlər troposferdə orta hesabla bir aya qədər qalır və sonradan Yer kürəsinin səthinə çökürlər.

Yeraltı nüvə sınaqları zamanı radionuklidlərin yalnız 1 - 2 % - i atmosfərə keçə bilər ki, bunlar da bir neçə saatdan sonra Yerin səthinə çökürlər. Belə çıxır ki, Yeraltı sınaqların çöküntüləri lokal xarakter daşıyır.

Məlum olduğu kimi, 6 avqust 1945 - ci ildə Amerikanın V - 29 qırıcı təyyarəsindən Xirosimo şəhərinin mərkəzinə 45 kq uran - 235 nüvə yanacağına malik

"Malış" adlı atom bombası atılmışdır. Partlayış 576 m yüksəklikdə baş vermişdir. Göbələk şəkilli ağ və qara tüstü buludu 15 - 18 km yüksəkliyə qədər qalxmışdır. Bu dəhşətli hadisəni 30 km məsafədən müşahidə edənlər onu Günəşdən yüz dəfə parlaq şar kimi xatırlayırdılar. Bulud tozunun ümumi radioaktivliyi təxminən milyon ton radiumun aktivliyinə bərabər idi. Radioaktiv tozun 99.9 % - ni ölçüsü 1 - 100 mkm olan zərrəciklər təşkil edirdi. Bu da onların havada uzun müddət qalmasına və küləklər vasitəsilə böyük məsafələrə yayılmasına səbəb oldu.

Naqasaki şəhərinə isə daha güclü "Tolstyak" adlandırılan plutonium bombası atılmışdır. Bu bombanın dağıdıcı və çirkləndirici zonası bu səbəbdən daha böyük olmuşdur. Partlayış zonasının bilavasitə üzərində (hiposentrdə) temperatur 3000-4000°C - ə çatmış və bu zaman hiposentrin yaxınlığında olan bir çox insanlar həqiqi mənada "buxarlanmışlar".

Partlayışların hiposentridə sıxılma zonası adlanan zona yarandı ki, bu da, zərbə dalğası şəklində 4.5 km/san (Xirosima) və 4.5 - 6.7 km/san (Naqasaki) sürətlərlə ətrafa yayılmağa başladı. Bu cür yayılmanın dağıdıcı təsiri qısa müddətdən sonara əks dalğanın və heç də əvvəlkindən kiçik olmayan dağıdıcı təsiri ilə əvəz olundu. Əks dalğanın yaranma səbəbi havanın böyük sürətlə vakuum əmələ gələn partlayış zonasına qayıtması ilə bağlı idi. Partlayış nəticəsində Xirosima şəhərində 7 mln. ev tamamilə dağıldı, 55 min ev isə yandı. Ümumilikdə binaların 90 % - i yerlə yeksan edildi.

Yanmayan və partlayış dalğası ilə məhv olmayanlar isə oksigen çatışmamazlığı və külli miqdarda karbon qazı və dəm qazı yaranması səbəbindən məhv oldular. Xirosima şəhərində partlayışdan 136 min sakin (ümumi əhalinin 53.3% - i) zərər çəkdi. Partlayışın birinci günü əhalinin 17.6 % - i, ilk dörd ay ərzində isə zədə almışların 47.1 % - i məhv oldu. Naqasakidə partlayışdan isə 640 min insan (şəhər sakinlərinin 36.8 % - i) zərər çəkdi və bunlardan 34.4 % - i birinci gün, 60.9 % - i isə ilk dörd ay ərzində məhv oldular.

İlkin ölümlərə səbəb mədə - bağırsağ traktının zədələnməsi, qanəmələgəlmənin ləngiməsi, əsasən də, qanda leykosit və trombositlərin azalması oldu. Belə ki, leykositlərin sayının azalması orqanizmin müdafiə qüvvələrinin zəifləməsinə, trombositlərin sayının azalması isə qanaxmaların və qansızmalarının tezliyinin artmasına səbəb oldu.

Ölüm hallarının başlamasının ikinci periodu qanəmələgətirmə sistemində ağır zədələnmələrin hesabına baş verdi. Bu hal şüalanmaya məruz qalmış insanlarda qırmızı sümük iliğinin fəaliyyətinin, demək olar ki, dayanmasına və son nəticədə leykosit və trombositlərin sayının kəskin aşağı düşməsinə səbəb oldu.

1945 - 1985-ci illər ərzində Yer kürəsində 1349 nüvə silahı sınaqdan keçirilmişdir. Təkcə Fransa 1975 - 1996-cı illər ərzində Sakit okeanın cənub hissəsində 131 sınaq keçirmişdir. Rusiyanın atom silahları isə iki müxtəlif poliqonda ("Semipalatinski" -də və "Yeni torpaq" adasında) sınaqdan keçirilmişdir. 1991 - ci ildən yeganə poliqon olan "Yeni torpaq" - da sosial siyasi vəziyyətin pisləşməsi Rusiya

Prezidentinin 25 oktyabr 1991 - ci il tarixində bu günə qədər də fəaliyyətdə olan və nüvə silahlarının sınağına qadağa qoyan moratoriumun imzalamasına səbəb olmuşdur.

1949 – cu ildən 1960 - cı ilə qədər “*Semipalatinski*” poliqonunda nüvə silahlarının sınaqdan keçirilməsində Altay əyaləti əhalisi böyük zərər çəkmişdir. Belə ki, əyalətin 1.5 mln - dan çox əhalisi radioaktiv şüalanmanın təsirinə məruz qalmışdır. 1980 - 1990-cı illər ərzində əhalinin bədxasssəli işlərlə xəstələnməsi hər yüz min əhali üçün 276 - dan 286 -ya qədər yüksəlmişdir. Bu müddət ərzində hipertoniya, işemik xəstəliklər 5 dəfə, bronx - ciyər sistemi xəstəlikləri 3.5 dəfə, yara xəstəlikləri 3 dəfə artmışdır. Bu proseslər nəticəsində anadangəlmə anomaliyalar və əhalinin ümumi ölüm göstəriciləri də ~ 34% artmışdır.

10.6. Atom sualtı qayıqlarında qəzalar

7 aprel 1989 - cu il tarixində Norveç dənizində “*Komsomolets*” Sovet sualtı qayığı qəzaya uğradı. Bu faciəli hadisə uzun müddət dünya mətbuatının müzakirə obyektinə çevrildi və bu günə qədər də bir məsələ mütəxəssisləri çox narahat edir. Görəsən, baş vermiş qəza ətraf mühitin nə dərəcədə çirklənməsinə səbəb oldu? Mütəxəssislərin hesablamalarına əsasən, qayığın titandan olan gövdəsinin artıq güclü elektrokimyəvi korroziyası başlamışdır.

Adətən dəniz suyunda korroziya 5 il ərzində 1 mm - ə qədər metalı “yeyə” bilir, lakin “*Komsomolets*”də bu prosesin sürəti ildə 20 mm təşkil edir. Bu isə onu göstərir ki, qayığın reaktorundan radionuklidlərin ilkin axını qəzadan 2 və ya 2.5 il sonra başlamışdır. Həqiqətən də 1992 - ci ildə sualtı aparatların köməyi ilə batmış qayığın tədqiqi suda radioaktivliyin olmasını sübut etmişdir.

Yapon tədqiqatçıları 25 il əvvəl Sakit okeanda Amerika hərbiçilərinin itirdiyi hidrogen bombasının izlərini müəyyən edə bilmişlər. Daha dəqiq desək, onlar dənizin dibində bombanın tərkibində olan plutoniumu aşkar edə bilmişlər.

Təxminən həmin illərdə “*Trişer*” və “*Skorpion*” atom sualtı qayıqlarının batdığı yerdə də radioaktivliyin yüksək olmasını qeydə alınmışdır.

“Soyuq müharibə” illərində keçmiş SSRİ - də bütün dünyada ümumilikdə düzəldilən qayıqlardan çox atom sualtı qayıqları düzəldilmişdir. Bu gün Rusiyada 215 nüvə reaktoru olan sualtı qayıq vardır ki, bunlardan da 101 - nə hələ nüvə yanacağı yüklənməyib. Bundan başqa, Rusiya şimalda nüvə reaktoru olan 8 suüstü hərbi gəmiyə və 15 atom buzqırın gəmisinə malikdir.

Belə böyük atom arsenalı yaradılarkən, çox yəqin ki, heç fikirləşən də olmayıb ki, görəsən istismar müddəti başa çatdıqdan sonra onların aqibəti necə olacaq? Onlar necə utilizasiya ediləcək? Radioaktiv tullantılar harada basdırılacaq?

Radioaktiv tullantıların okeanın dibinə atılması kimi əvvəllər praktikadan keçmiş üsullar artıq mümkün deyil. Köhnəlmiş “*atomoxod*” - ların kütləvi surətdə sıradan çıxması bu problemi Rusiya üçün milli fəlakət səviyyəsinə qaldırmışdır.

Hərbi dəniz bazalarında öz “*ölmək*” növbəsini gözləyən atom su qayıqlarına diqqət o dərəcədə aşağıdır ki, onlar istənilən an suyun dibinə gedə bilirlər və

bununla da yeni "Çernobil" baş verə bilər. Məsələn burasındadır ki, bu gün Rusiya həmin submarinləri parçalamaq üçün kifayət qədər istehsalat gücünə malik deyil. Ən yaxşı halda Rusiyanın gəmiqayırma zavodları ildə 8 - 10 belə qayığı ləğv edə bilər. Deməli, növbəsini gözləyən 96 gəminin ləğvi üçün minimum 10 il tələb olunur.

Submarinlərin parçalanması üçün istehsalat gücünün çatışmaması yeganə problem deyil. Bu sahədə daha bir ciddi maneə vardır. Həm sualtı, həm də suüstü atom gəmilərinin fəaliyyətində istifadə olunan bərk və maye tullantıların şimaldan daşınması üçün kifayət qədər imkanların olmaması problemi daha da dərinləşdirmişdir. Bu gün Rusiyanın istifadəsində bu tullantıları "Çelyabinsk – 65" - də yerləşən emal zavoduna daşımaq üçün cəmi iki qatar vardır və hər bir qatara yalnız bir nüvə reaktorunun məhsulları yerləşə bilər.

Əsas problemlərdən biri də submarinin sonuncu bölünmə mərhələsində ayrılan hissəsini (nüvə reaktoru daxil olan hissəni) harada saxlamaq problemidir. Onların basdırılması üçün bu günə qədər layihədə nəzərdə tutulmuş nə Yeni torpaqda, nə də Kolsk yarımadasının yeraltı qayalarında oyulub düzəldilmiş sualtı zavod-bazalarda yer yoxdur. Qeyd edək ki, qayalar içərisində yerləşən bu sualtı bazalar strateji submarinlərin atom partlayışlarından qorunması məqsədi ilə düzəldilmişdir. Ekspertlərin hesablamalarına əsasən bu bazaların nüvə qəbirstanlılığına çevrilə bilməsi üçün keçmiş SSRİ - nin atom donanması yaratması üçün xərclədiyi qədər vəsait lazımdır.

1955 - ci ildən başlayaraq ABŞ, SSRİ, Fransa, İngiltərə və Çin, ümumilikdə, 420 - dən çox atom sualtı qayıq düzəltilmişlər. Keçən müddət ərzində submarinlər dəfələrlə təsadüfi toqquşmalar nəticəsində yük gəmilərini batırmış və su altında böyük sürətlə bir-birinə çırpılmışlar. Bu gün qəzalar nəticəsində batmış gəmilərdən ən azı altı dənizin dibində qalmışdır. Bütün bunlar, artıq qeyd etdiyimiz kimi, təsadüfi halların, ekipaj kompotentsizliyinin və istehsalat çatışmamazlığının qurbanları olmuşlar.

Atom sualtı qayıqlarını amerikalılar ruskardan əvvəl düzəltilmişlər və ona görə də ilk zərər çəkənlər də məhz onlar olmuşlar. Hələ "Nautilus"u suya salmamışdan əvvəl onun reaktoru qayığın ekipajını öldürməyə başlamışdır. Sonradan yanğınlar, partlayışlar, ekipajın şüalanmaya məruz qalması adi hala çevrilmişdir. "Sarqo" sualtı qayığında yanğıni söndürmək üçün amerikalılar "atomoxod"u batırmaq məcburiyyətində qalmışlar.

1963 - cü ildə Atlantik okeanda naməlum səbəbdən amerikanın 129 nəfərlik ekipajı olan daha bir submarin ("Treşer") qəzaya uğradı. 1968 - ci ildə isə Azor adalarının yaxınlığında "Skorpion" yoxa çıxdı. Onun qalıqları bir neçə aydan sonra böyük dərinlikdən tapıldı. Fərziyyələrin birinə görə, gəminin kapitanı qəza torpedasından qorunmaq üçün batma əmri vermiş və son nəticədə yenə də dərinlikdə öz torpedasının qurbanına çevrilmişdir. Qəzada 99 nəfər heyət məhv olmuşdur.

Yenə də 1968 - ci ildə Havay adaları rayonunda SSRİ - nin nüvə başlıqlı üç ballistik raketə malik "K – 129" adlı dizel qayığı qəzaya uğradı və 97 nəfər heyət məhv oldu. 1970 - ci ildə Biskay körfəzində "K - 8" atom sualtı qayığında baş verən

yanğın nəticəsində 52 nəfərlik heyətlə birlikdə qayıq məhv oldu. 1986 - cı ildə sirli Bermud üçbucağında raketdaşıyıcı “K – 219” qayığı yoxa çıxdı. 1989 - cu ildə 42 nəfər heyəti olan “Komsomolets” məhv oldu. Bu siyahını kifayət qədər uzatmaq olar, çünki belə qəzaların bəziləri haqqında, sadəcə olaraq, susmağı üstün tutmuşlar. Məsələn, sualtı K - 8 qayığının məhvi haqqında xəbər geniş ictimaiyyətə qəzadan 21 il sonra çatmışdır. Uzun illər “K - 19” - un qəzası haqqında məlumatlar gizli saxlanılmışdır.

Bu siyahıda dəhşətli qəzalardan sonuncusu 13 avqust 2000 - ci ildə baş vermiş “Kursk” atom sualtı qayığında baş verən qəzadır ki, bu qəza nəticəsində də submarin Barents dənizinin 100 m dərinliyində torpağa çökdü. Nəticədə qayığın kapitanı ilə birlikdə 108 dənizçi məhv oldu. Bu qəza Rusiya dəniz donanmasının ən faciəli və ən müəmmalı qəzalarından biri idi. Bu qayıq böyük nüvə yanacağı ehtiyatı olan iki reaktora malik idi.

10.7. Radioaktiv tullantıların basdırılması problemi.

Qalındıvarlı qablarda yerləşdirilmiş radioaktiv tullantılar onlar üçün nəzərdə yuyulmuş xüsusi yerlərdə - “qəbiristanlıqda” basdırılır. Məsələ burasındadır ki, bu formada tullantıların basdırılması onların yüz min illər təhlükəsiz saxlanılmasını təmin etməlidir. Belə böyük müddət ərzində isə nələrin baş verəcəyini proqnozlaşdırmaq belə mümkün deyil. Buna baxmayaraq, işlənmiş nüvə yanacağının basdırılma yerləri elə olmalıdır ki, həmin ərazilərdə zəlzələ təhlükəsi, qrunt laylarının sürüşmə və çatlama ehtimalları çox aşağı olsun. Həmçinin də, radioaktiv parçalanma saxlanılan maddənin qızması ilə müşayiət olunduğundan, o, həm də soyudulmalıdır. Saxlanma rejiminə düzgün riayət edilmədikdə radioaktiv maddənin həddən artıq qızması və hətta onun partlayışı baş verə bilər.

Uzun yaşama müddətli izotoplara malik xüsusi təhlükəli radioaktiv tullantılar qalındıvarlı, yüksək möhkəmliyə malik qablarda yerləşdirilir və fərdi mühafizəyə malik beton çəlləklərə qoyulur. Çəlləklər açıq havada saxlanılır və yaradılan təbii konveksiya hesabına soyudulur. Tullantını bu formada 50 – 100 il -ə qədər saxlamaq mümkündür ki, bu müddət ərzində də, həm radioaktivliyin səviyyəsi, həm də enerji ayrılması gücü müntəzəm olaraq azalır.

Yerin səthində uzun müddətə saxlanılmaya daha çox üstünlük verilir. Belə ki, bu halda təbii konveksiya hesabına soyutmanı və konteynerlərin vaxtaşırı yoxlanılmasını təşkil etmək nisbətən asan olur. Belə saxlanılma o vaxta qədər davam edir ki, enerji ayrılması gücü xüsusi soyutma tələb olunmayan səviyyəyə çatsın. Ondan sonra isə radioaktiv tullantıların uzun müddətə basdırılması işləri həyata keçirilir.

İstifadə olunmasından və ya emal olunmasından asılı olmayaraq, yanacaq son nəticədə okeanın dibində, qaya süxurlarında və yaxud da yeraltı duz laylarının daxilində basdırılır.

10.7.1. Dəniz və okeanların dibində basdırılma. Radioaktiv tullantıların dəniz və ya okeanların dibində basdırılması praktikasından bir çox ölkələrdə istifadə edir. İlk dəfə olaraq, bu üsuldən 1946 - cı ildə ABŞ-da, 1949 - cu ildə Böyük Britaniyada, 1955 - ci ildə Yaponiyada, 1965 - ci ildə isə Niderlandda istifadə edilmişdir. Keçmiş SSRİ-də radioaktiv maye tullantıların ilk dəfə dəniz qəbiristanlığında basdırılması 1964 - cü ildə həyata keçirilmişdir.

AEBA -nın 1946 - 1982 - ci illəri əhatə edən nəticələrinə əsasən Şimali Atlantikanın dəniz qəbiristanlıqlarına dünyanın 12 ölkəsi ümumi aktivliyi 1 MKü -dən çox olan radioaktiv tullantılar atmışlar. Radioaktiv tullantılar atılmış Yer kürəsinin ayrı - ayrı əraziləri ümumi aktivliyə görə hal - hazırda aşağıdakı göstəricilərə malikdir (Усманов С.М., 2001) :

- a) Şimali Atlantika – ~ 430 kKu;
- b) Uzaq Şərqi dənizləri – ~ 529 kKu;
- c) Arktika – ~ 700 kKu.

Karsk dənizinə yüksək aktivlikli tullantıların ilk atılma vaxtından 25 - 30 il keçmişdir. Bu illər ərzində reaktorların və işlənmiş nüvə yanacağıının aktivliyi dəfələrlə azalmışdır. Bu gün Şimal dənizlərində radioaktiv tullantıların aktivliyi 45 kKu təşkil edir.

Hesab etmək olar ki, radioaktiv tullantıların dənizdə basdırılması işləri ilə bu sahədə kifayət qədər bilik və təcrübəyə malik mütəxəssislər məşğul olmuşlar. Həmçinin də fərz etmək olar ki, radioaktiv tullantılar körfəz və buxtaların elə çalalarına atılmışdır ki, həmin dərin qatlara yeraltı sular və sualtı axınlar təsir göstərmir. Bu səbəbdən də tullantılar başqa yerlərə yayılmırlar və xüsusi çöküntülər tərəfindən udulurlar.

Həmçinin də nəzərə almaq lazımdır ki, daha yüksək aktivlikli tullantılar bərkidici qarışıqlarla elə hala salınır ki, radionuklidlərin dəniz suyuna keçməsi mümkün olan halda belə, onlar bilavasitə basdırılan tullantıların yanındakı çöküntülər tərəfindən udularlar. Bunu, həmin ərazilərin radiasiya vəziyyətini öyrənməklə, sübut etmək olar.

5 km -dən az olmayan dərinliyə malik su hövzələrində radioaktiv tullantıların basdırılması imkanları daha çox müzakirə olunur. Okeanın dərin, qayalı dibi çöküntü ilə örtüldüyündən, konteyneri gəminin göyərtəsindən sadəcə atmaqla, onu çöküntünün içərisində 10 m - lərlə batırmaq olar. 100 m - lərlə dərinliyə batırmaq üçün isə artıq qazma tələb olunur. Çöküntülərə dəniz suyu hopduğundan, yalnız on və ya yüz illərdən sonra su nüvə yanacağı olan qabları korroziyaya uğratmaqla, deşə bilər və yanacağın radioaktiv elementləri üzə çıxar bilər. Hesab olunur ki, üzə çıxan bölünmə məhsullarını çöküntülər adsorbsiya edərək okeana yayılmasına imkan vermir.

Nəzəri hesablamalar göstərir ki, əgər konteynerin atılması zamanı onun örtüyünün okeanın dibinə dəyib dağılması kimi az ehtimallı hal baş versə belə, xırdalanmış yanacaq hissələri çöküntülərin altında 100 - 200 il -ə qədər qala bilər. Bu müddət ərzində isə radiasiya səviyyəsi bir neçə tərtib azalacaq.

10.7.2. Duz çöküntülərində basdırılma. Duz çöküntüləri radioaktiv tullantıların uzunmüddətə basdırılması üçün ən yaxşı yer hesab olunur. Geoloji təbəqədə duzun bərk halda qalması göstərir ki, həmin yerdə milyon illərdən bəri qrunut suları sirkulyasiya etmir. Buna görə də bu cür çöküntülərə yerləşdirilmiş yanacaq qrunut suları yuyub üzə çıxarmayacaq.

Qeyd edək ki, bu cür duz çöküntülərinə çox təsadüf olunur.

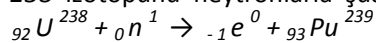
10.7.3. Geoloji basdırma. Bu üsulla basdırılma zamanı işlənmiş yanacaq elementlərinə malik konteynerlər, adətən, ~ 1 km dərinliyə malik stabil layda yerləşdirilir. Hesab etmək olar ki, bu süxurlarda su olmalıdır, belə ki, onların basdırılma yerləri qrunut sularının səviyyəsindən aşağıdır. Həmçinin də gözləmək olar ki, konteynerdən istiliyin ötürülməsində su əhəmiyyətli rol oynamayacaq. Buna görə də, basdırılma yerinin layihəsi hazırlanarkən radioaktiv maddə yerləşdirilmiş qabın səthində temperaturun 100°S - dən çox ola bilməsi nəzərə alınır. Buna baxmayaraq, qrunut sularının olması saxlanma bloklarından yuyulub çıxarılan materialın laylardan suya keçə bilməsinə şərait yaradır. Bu cür sistemlərin layihələşdirilməsi zamanı qeyd olunan məsələ əsas məsələ kimi müzakirə olunur.

Qeyd edək ki, son illər çox ciddi şəkildə uzunyaşama müddətli izotoplara malik konteynerləri raketlərin köməyi ilə Ayın görünməyən əks tərəfinə atmaq imkanları müzakirə edilir. Bəs, kim təminat verə bilər ki, raketlərin uçuşu uğurlu olacaq və daşıyıcı-raket atmosferdə partlayıb yerə tökülməyəcək? Həmçinin də, biz nə bilirik ki, Ayın əks tərəfi gələcək nəsillərə nə üçün lazım olacaq? Ona görə də oranı öldürücü radiasiya zibixanasına çevirmək nə dərəcədə doğru olardı?

10.7.4. Plutonium problemi. Plutonium kifayət qədər toksiki xassəli maddədir və o, atom reaktorlarının köməyi ilə alınır. Plutoniumdan ilk vaxtlar nüvə hərbi sursatların istehsalında istifadə olunurdu. Nüvə enerjisindən istifadə olunan illər ərzində isə ondan daha geniş istifadə olunmağa başlandı və bu gün Yerdə orta hesabla 1000 ton - a yaxın öz istifadə təyinatını gözləyən plutonium toplanmışdır (Усманов С.М., 2001). Bu miqdar silah istehsalı üçün çox böyükdür. Bəs, onda çıxış yolu nədədir? Belə böyük miqdardan necə yaxa qurtarmaq olar?

Qeyd edək ki, hər hansı bir yerdə plutoniumun saxlanılmasına külli miqdarda vəsait tələb olunur.

Məlum olduğu kimi, təbiətdə plutonioma rast gəlmək olmur. Onu yalnız süni yolla, reaktorda *uran* - 238 izotopunu neytronlarla şüalandırmaq yolu ilə almaq olur:



Plutoniumun kütlə ədədi 232 -dən 246 -a qədər dəyişən 14 izotopu vardır. İşlənmiş AES yanacağından ayrılmış plutonium yüksək aktivlikli izotop qarışığına malik olur. Bunlardan yalnız *Pu-239* və *Pu-241* istilik neytronlarının, qalanları isə sürətli neytronların təsiri ilə bölünə bilirlər.

Pu-239 izotopunun yarımparçalanma periodu 24000 il -dir. O, orqanizmə daxil olduqda, oradan çox çətinliklə çıxarılır və bəzi orqanlarda isə hətta toplanıb qala

bilir. Ona görə də, onunla işləyən zaman çox ciddi mühafizə vasitələrindən istifadə edilir.

Pu-241 izotopunun yarımparçalanma periodu isə nisbətən kiçikdir (75 il). Onun parçalanması güclü γ -şüalanma yaradan *Am-241* izotopunu əmələ gətirir. Bu izotopun toksikiliyi o dərəcədə yüksəkdir ki, onun mində bir qram kütləli tozunu udmaq, qısa müddətdə ölümlə nəticələnir.

Sarovda (keçmiş "*Arzamas - 16*" - da) yerləşən Rusiya Federal Mərkəzinin rəhbərlərindən biri, akademik Yuriy Trutnev plutoniumu saxlamaq (basdırmaq) üçün nüvə partlayışının köməyi ilə yaradılan yeraltı saxlama yerlərindən istifadə etməyi təklif etmişdir. Təklif olunan texnologiya əsasən bir neçə kilometr dərinliyində quyu qazılır və həm radioaktiv maddə, həm də az miqdarda nüvə yanacağı ora endirilir. Sonra quyunun ətrafı hasara alınır və yeraltı nüvə partlayışı həyata keçirilir. Nəticədə episentrdə olan radioaktiv maddə əriyir və soyuyaraq onu əhatə edən dağ süxurları ilə birlikdə "şüşələşir". Hesab olunur ki, alınan şüşəkütlə on milyon illər ərzində radionuklidləri özündə saxlamağa qadirdir ki, bu müddət ərzində də onların radioaktivliyi təbii fon səviyyəsinə qədər enəcək.

Y.Trutnevin hesablamalarına əsasən, əgər 50 kiloton nüvə yanacağı partladılarsa, onda 50000 ton süxur ərintisi yaranar. Alimlər qrupunun üzvləri üç il keçəndən sonra partlayışın episentridən nümunə götürərək müəyyən etmişlər ki, şüşə halına salınmış maddə yeraltı sulara, demək olar ki, həll olmur, yəni su həmin maddəni yumaqla, radionuklidləri üzə çıxara bilmir.

Bu üsulla plutoniumun basdırılması texnologiyası bu gün ən əsas üsullardan hesab olunur.

10.8. İşlənmiş nüvə yanacağının emalı və onun perspektivləri.

Birincisi, dünyanın əksər ölkələrində (o cümlədən də, Rusiyada) işlənmiş nüvə yanacağına münasibət təcrübəsi göstərir ki, növbəti texnoloji proseslərdən əvvəl onlar uzun müddətli saxlanma prosesini keçməlidirlər. Belə ki, uzun müddətli saxlanma onların emalını asanlaşdırır və radioaktiv tullantıların sayını azaldır. Həmçinin də, bu müddət işlənmiş nüvə yanacağının emalı üzrə daha mükəmməl texnoloji qurğuların yaradılmasına imkan verir.

İkincisi, işlənmiş nüvə yanacağının radioaktiv tullantı kimi qəbul olunmasına baxmayaraq, o, atom sənayesi üçün qiymətli xammal hesab olunur. Elə xammal ki, onun tərkibində təbii uranla müqayisədə 1.5-2 dəfə çox uran - 235 və ~ 1% plutonium - 239 izotopları vardır. Buna görə də işlənmiş nüvə yanacağı ilk növbədə təkrar emala göndərilir.

Rusiyada "*Mayak*" istehsalat birliyi AES - lərin, atom buzqıran gəmilərin və sualtı qayıqların yanacağının təkrar emalı ilə məşğul olur. Ümumiyyətlə götürüldükdə, bu xidmət növü çox baha başa gələn xidmətdir, çünki belə emal üçün çoxlu sayda əməliyyatlar kompleksi həyata keçirmək tələb olunur. Yanacağın daşınması üçün

vaqon-konteynerlər tələb olunan səviyyədə saxlanılmalı və onların qəzasız istismarı təmin edilməlidir. Daşınmanın özünün də maksimal təhlükəsizliyi təmin edilməlidir.

Yanacaq "*Mayak*" -a çatdırıldıqdan sonra kombinat onun bir müddət saxlanılması üzrə xidmət göstərir və ondan sonra emal prosesi başlayır. Emal prosesində də tullantılar yaranır ki, onların da basdırılması tələb olunur. Həmçinin də, ən qorxulu tullantılar elə hala salınmalıdır ki, onları uzun müddət saxlamaq mümkün olsun. Bu məqsədlə həmin tullantılar "şüşə" halına salınır və belə halda onlar heç bir təhlükə yaratmır.

Bütün dünyada radioaktiv tullantıların "şüşə" halına salınması ilə cəmiyyətdə bir neçə müəssisə məşğul olur və hələ ki, bu üsuldən daha mükəmməl olan üsul işlənilib hazırlanmayıb. Şüşə matrisaya salınmış radioaktiv maddənin bir neçə onilliklər ərzində γ -radioaktivliyi azalaraq, praktiki olaraq, təhlükəsiz hala keçir. Yavaş parçalanan α - və β -radioaktiv elementlərin şüaları isə şüşədə əsrlər boyu təhlükəsiz qalırlar.

Üçüncüsü, təbii uran ehtiyatları sonsuz deyil. Deməli, hər şeydən əvvəl "*uran - reaktor - plutonium - emal - reaktor*" dairəvi yanacaq tsikli təkmilləşdirilməlidir. Bu gün belə texnologiyaya yalnız üç ölkə (İngiltərə, Rusiya, Fransa) malikdir. Yaponlar öz kiçik adalarında işlənmiş nüvə yanacağını emal edən zavodlar tikmək fikrindədirlər. Amerikalılar isə J. Karterin prezidentliyi dövründə belə emalı dayandırmış və bu ideyadan uzaqlaşmışlar.

10.9. Atom energetikasına alternativ yoxdur.

Elm adamları planetdə enerji böhranının yaxınlaşmasını xəbər verən həyəcan təbili çalırlar. Doğrudan da, neft ehtiyatları sonsuz deyil, kimya sənayesinin qiymətli xammalı olan qaz isə Rusiya kimi ölkələrin ən sərfəli eksport məhsuludur. D.İ. Mendeleevin dediyi kimi, qazdan yanacaq kimi istifadə etmək ağılsızlıqdır. Müqayisə üçün qeyd edək ki, AES - lərin elektrik enerjisindən istifadə etməklə, Rusiya yalnız 1989 - cu ildə *36 milyard kub metr* qaza qənaət edə bilmişdir.

Deməli, elektrik enerjisi almaq məqsədi ilə qazdan istifadə iqtisadi cəhətdən heç cürə sərfəli deyil. Bu məqsədlə kömürün yandırılması isə ətraf mühitin çirklənməsi baxımından böyük ekoloji problemlər yaradır. Su Elektrik Stansiyalarına gəldikdə isə onlar əksər hallarda çox da böyük olmayan gücə malik olurlar və bu qəbildən olan enerji mənbələri də özünəməxsus ekoloji problemlər yaratmağa qadirdir.

Belə olan halda dünyanın aparıcı alimləri yaxın onilliklərdə atom energetikasına alternativin olmayacağını söyləyirlər və hesab edirlər ki, AES - lər şəbəkəsinin fasiləsiz genişlənməsinə böyük ehtiyac vardır.

Qeyd etmək yerinə düşərdi ki, 2000 - ci ilin yanvar ayının 1 -ə qədər dünyanın 247 AES - də 436 nüvə enerjili blokdan istifadə edilmişdir ki, bu da, bütün dünyada istehsal olunan ümumi elektrik enerjisinin yalnız 17% -ni almağa imkan verir. Bu gün ABŞ - da 104, Fransada 59, Rusiyada isə 29 nüvə reaktoru fəaliyyətdədir.

Həqiqətən də atom energetikasının ekoloji cəhətdən ən təmiz enerji olması danılmaz faktdır. Onlarda baş verən qəzalara gəldikdə isə, qeyd edək ki, bu enerji

növü ən təhlükəli enerji növüdür. Deməli, bu vəziyyətdən yeganə çıxış yolu yarana biləcək təhlükələrin zərərsizləşdirilməsi yollarının axtarılıb tapılmasıdır. Bunun üçün yol verilmiş səhvləri təhlil etmək və onlardan nəticələr çıxarmaq tələb olunur. AES -lərdə son illər baş verən qəzalar göstərdi ki, hətta ən təkmil hesab olunan "RBMK" (Çernobıl AES - də istifadə olunan) və qaynayan sulu "VVER" (Fukusima AES - də istifadə olunan) ipli energetik reaktorlar da özünü doğrultmadı.

Qeyd edək ki, Fukusima AES - də istifadə olunan Rusiyanın "VVER-1000" tipli reaktorları, mütəxəssislərin fikrincə, qərbin təhlükəsizlik standartlarına uyğun gəlməklə yanaşı, həm də bəzi göstəricilərinə görə onları üstələyir. Həmçinin Rusiyanın BN-800 tipli, sürətli elektronlar əsasında işləyən yeni enerji blokları da ən təhlükəsiz reaktor kimi özünü sübut etmişdir. Məsələn, bunun prototipi olan "BN - 600" reaktoru Beloyarsk AES - də bu günə qədər uğurla istismar olunur. "BN - 800" tipli enerji blokları onları zəlzələdən, zərbə dalğasından, təyyarə düşməsindən qoruyan əlavə qəza mühafizə sisteminə də malikdir. Germetik mühafizə sistemi isə reaktorun həm normal fəaliyyətində, həm də istənilən qəza şəraitində radionuklidlərin ətraf mühitə yol tapmasına imkan vermir.

1. Cəfərov E.S., Musayev M.H., Qurbanov G.B., Əliyev L.Ə. Abşeron yarımadasının radioekoloji vəziyyətinin öyrənilməsi. «Bakı şəhəri və şəhərətərafı ərazilərin ekoloji problemləri» konf. mater., Bakı, 1992, s. 190.

2. Cəfərov E.S., Musayev M.H., Əliyev L.Ə. Abşeron yarımadasında radionuklidlərin paylanmasının öyrənilməsi. «Bakı şəhəri və şəhərətərafı ərazilərin ekoloji problemləri» konf. mater., Bakı, 1992, s. 191.

3. Cəfərov E.S., Əliyev L.Ə., Mironenko A.A., Fərəcov M. F. Qobustan və Abşeron yarımadasının bəzi palçıq vulkanlarının ərazilərində radioekoloji vəziyyətin öyrənilməsi. "Həsən Əliyev və Azərbaycanca ətraf mühitin davamlı inkişafının problemləri" konf. mater. Bakı, 2002. c.249-250.

4. Cəfərov E.S., Orucova C.R., Cəfərli A.K. Kiçik dozalı γ -radiasiyanın dəvətikanı və qoşayarpaq bitkilərinin biomorfoloji, reproduktivlik və rezistentlik xüsusiyyətlərinə təsirinin tədqiqi // AMEA-nın Xəbərləri (Biologiya elmləri seriyası). 2005. №3-4. s. 168-173.

5. Cəfərov E.S., Orucova C.R. Kiçik dozalı radiasiyanın bitkilərin vegetasiya dövrünün müxtəlif mərhələlərində fotosintez prosesinə təsirinin tədqiqi // AMEA-nın məruzələri. 2006. № 5-6. s. 90-98.

6. Cəfərov E.S., Orucova C.R. Romanı yod zavodunun istehsalat ərazisinin radiobioloji monitorinqi "Abşeron yarımadasının radioekoloji durumuna neft-qaz istehsalının təsiri" Resp. Konf. mater., Bakı, 2007, s.17-18.

7. Məmmədov Q.Q., Ramazanov M.Ə., Badalov V.Q., Nağıyev C.Ə., Mehdiyeva A.Ə., Bəkirova M.M. Abşeron yarımadasının təbii və antropogen radionuklidlərlə çirklənmələrin tədqiqi.- Respublika konfransı "Radiasiya və ətraf mühit", Radiasiya Problemləri İnstitutu, Bakı, 2010, s.79-81.

8. Orucova C.R. Kiçik dozalı radiasiyanın bitkilərin fotosintetik aparatına təsirinin öyrənilməsi./ AMEA aspirantlarının elmi konf. mater. Bakı: 2005, s. 46-48.

9. Orucova C.R. Xroniki təsir şəraitində formalaşmış bitkilərdə karotinoidlərin miqdarının radiasiyadan asılılığı. AMEA aspirantlarının elmi konf. mater. Bakı: 2006, s. 85-87.

10. Orucova C.R. Cəfərov E.S. Bakı yod zavodunun istehsalat ərazisini çirkləndirən radionuklidlərin ərazi torpaqlarında şaquli və üfüqi miqrasiyasının öyrənilməsi "Ekologiya və həyat fəaliyyətinin mühafizəsi" V Beyn. Konf. mater., Sumqayıt, 2007, s.110-111.

11. Абдуллаев М.А., Алиев Дж.А. Миграция искусственных и естественных радионуклидов в системе почва-растение. Баку «Элм» .1998. 239 с.
12. Абрамов А.И. и др. Основы экспериментальных методов ядерной физики. М.: Энергоатомиздат, 1986, 559 с.
13. Абрамов В. И., Динева С. В., Рубанович А. В., Шевченко В. А. Генетические последствия радиоактивного загрязнения популяций *Arabidopsis thaliana*, произрастающих в 30 километровой зоне аварии на ЧАЭС // Радиационная биология. Радиоэкология, 1995, т. 35, вып. 5, с. 676-689.
14. Аверин В.С., Калиниченко С.А., Неначиев Р.А., Цуранков Э.Н. Оценка параметров перехода радионуклидов из почвенных частиц и растительной компоненты верхнего слоя дернины в молоко крупного рогатого скота в условиях пастбищного содержания // Радиационная биология. Радиоэкология, 2002, т. 42, №4, с. 429-432.
15. Агапкина Г.И. Органические формы соединений искусственных радионуклидов в почвенных растворах природных биогеоценозов // Радиационная биология. Радиоэкология, 2002, т. 42, №4, с. 404-41.
16. Алексахин Р.М. Ядерная энергия и биосфера. М.: Энергоиздат. 1982.215 с.
17. Алексахин Р.М., Архипов Н.П., Бархударов Р.М. и др. Тяжелые естественные радионуклиды в биосфере: Миграция и биологическое действие на популяции и биогеоценозы. М.: Наука, 1990, 368с.
18. Алиев Д. А., Лисаченко Э.П., Абдуллаев М.А., Дричко В.Ф. Содержание естественных радионуклидов в пахотных почвах Азербайджана // Тез. Докл. II Всесоюз. конф. по с.-х. радиологии. Обнинск. 1984. Т.1. С.87-88.
19. Алиев Ч.С., Фейзуллаев А.А., Багирли Р.Дж., Велиева Ф.Ф. Факторы, контролирующие уровень объемной активности радона в Азербайджане. АМЕА-nın Xəbərçəri (Yer Elmləri), 2012, №1, s. 42-48.
20. Антонов В.Ф. Липидные поры: «Стабильность и проницаемость мембран» // Соросовский образовательный журн., 1998, №10, с.10-17.
21. Антонов М., Митева Д., Влияние гамма-лучей на рост, развитие и продуктивность некоторых сортов картофеля. Влияние на гамма-лучите върху растежа, развитието и продуктивността на някои сортове картофи // Почвозн., агрохим. и екол., 2001, №4-6, с. 121-124.
22. Антонов М., Минтева Д., Диноева С. Влияние комбинированного гамма-облучения и лучей лазера на семена кукурузы // Почвозн. Агрохим. и екол., 2002, 37, № 1-3, с. 94-96.
23. Артамонова В.Г., Шаталов Н.Н. Профессиональные болезни. М.: Медицина. 1988. 240 с.
24. Баева Е.Ю., Шестопалова Н.Г. Изучение радиоадаптивного ответа (РАО) клеток меристемы в связи с явлением гетерозиса у растений. Актуальные проблемы генетики: Материалы 2 конф. Московского общества

генетиков и селекционеров им. Н.И.Вавилова, посвященной 115-летию со дня рождения академика Н.И. Вавилова, Москва, 20-21 февр., 2003. Т.1, - М., 2001, с. 23.

25. Баева Е.Ю., Шестопалова Н.Г. Индукция и проявление радиоадаптивного ответа (РАО) клеток растений под влиянием отдельного и совместного воздействия на семена ионизирующего и неионизирующего излучения / Медико-биологические проблемы противолучевой и противохимической защиты: Сборник материалов Российской научной конференции, Санкт-Петербург, 20-21 мая, 2004, - СПб, 2004, с. 50-51.

26. Базь А.И., Гольданский В.И., Зельдович Я.Б.. Систематика легчайших ядер. // УФН. 1965. Т. 85. Вып. с. 445-483.

27. Базь А.И., Гольданский В.И., Гольдберг В.З., Зельдович Я.Б. // Легкие и промежуточные ядра вблизи границ нуклонной стабильности. М.: Наука, 1972. 171 с.

28. Бак З.М. Химическая защита от ионизирующей радиации. М.: Атомиздат. 1968. 246 с.

29. Баранников Ю.И., Барсуков О.А., Гаврилов П.Ф. Дозовые характеристики космических лучей на трассах полетов высотных самолетов // Космические исследования. 1986. №24 (2). С. 314-319.

30. Баранников Ю.И., Барсуков О.А., Гаврилов П.Ф. Расчет уровней ионизирующих излучений на трассах полета высотных самолетов // Космическая биология и авиакосмическая медицина. 1987. №2. С.69-73.

31. Барсуков О.А., Барсуков К.А. Радиационная экология. Изд.-во «Научный мир», 2003, 254 с.

32. Барсуков О. А., Колосеев Е. В., Пфедфер М. А., Герасименко А. А. Блок детектирования спектрометра малых энергий // Изв. АН Каз. ССР, Сер. физ.-мат., 1987, т.2, с.78-82.

33. Батулин Г. Н. Уран в современном морском осадкообразовании. М.: Атомиздат. 1975. 151 с.

34. Белицына Г.Д., Черепова Т.В. Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Л.: 1980, с. 208-213.

35. Белячки Ю.Г. Укоренение черенков смородины при действии когерентного и гамма - облучения в растворе параоквата и в воде. 2 Съезд Вавиловского общества генетиков и селекционеров. СПб.: Санкт-Петербург, 2000, Т.2, с.148-149.

36. Березина Н. М., Каушанский Д. А. Предпосевное облучение семян сельскохозяйственных растений. М.: Атомиздат, 1975, 263 с.

37. Бинева Ц, Цветкова С, Найденов А, Строева Н. Поступление ¹³⁷Cs в растения различных сортов овса при выращивании на загрязненных почвах // Почвозн., агрохим. и экол., 1998, т. 33, №4, с. 86-87.

38. Богомолов М.А., Мазенин М.Г. Использование стимулятивного радиационного мутагенеза в селекции сахарной свеклы / 2 Съезд Вавиловского общества генетиков и селекционеров. СПб.: Санк - Петербург, 2000, с. 14-15.
39. Болсуновский А.Я., Ермаков А.И., Бургер М., Дегерменджи А.Г., Соболев А.И. Накопление техногенных радионуклидов водными растениями р. Енисей в зоне влияния горно-химического комбината // Радиацион. биол. Радиоэкология, 2002, т. 42, №2, с. 194 - 199.
40. Болсуновский А.Я., Зотина Т.А. Экспериментальные исследования накопления ^{241}Am макрофитами р. Енисей // Радиационная биология. Радиоэкология, 2002, т. 42, №2, с. 200 - 203.
41. Бондарьков М., Гащак С., Желтоножская М., Максименко А., Мартыненко В., Иванов Ю., Петров М., Бондарьков Д. Вертикальный перенос $^{134,137}\text{Cs}$, $^{154,155}\text{Eu}$, $^{238,239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в почвах ближней зоны ЧАЭС / Тезисы докладов V съезда по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность), Москва: 2006, том 2, с. 80.
42. Бреславец Л.П., Березина Н.М., Щибря Г.И. Длительное действие малых доз гамма- лучей на некоторые сельскохозяйственные растения // Биофизика. 1956.Т.1, №6. С. 555-561.
43. Буджиашвили Д.М., Звиададзе Н.Д. Влияние гамма-радиации на устойчивость пшеницы к бурой и стеблевой ржавчине // Зерн. Х-во., 2002, № 8, с.24.
44. Булгаков А.А., Коноплев А.В., Авила Р. Оценка накопления ^{137}Cs в лесных грибах по свойствам почвы // Радиационная биология. Радиоэкология, 2000, т. 40, №4, с. 462- 464.
45. Булгаков А.А., Коноплев А.А., Авила Р. Моделирование накопления ^{137}Cs растениями и грибами при вертикальной неоднородности свойств почвы и распределения в ней радионуклида // Радиационная биология. Радиоэкология, 2001, т. 41, №2, с. 226- 231.
46. Булгаков А.А., Коноплев А.В. Моделирование вертикального переноса ^{137}Cs в почве по корневой системе дерева // Радиационная биология. Радиоэкология, 2002, т.42, №5, 556-560.
47. Булгаков А.А., Шкута О.В. Моделирование перехода ^{137}Cs из почвы в растения // Радиацион. биол. Радиоэкол., 2004, т. 44, №3, с.351-360.
48. Бурлакова Е.Б., Эмануэль Н.М. Роль антиокислителей в физико-химических процессах. Серия биол. 1971. 1. С. 134-138.
49. Бурлакова Е.Б., Алексеенко А.В., Малочкина Е.М. и др., Биоантиоксиданты в лучевом поражении и злокачественном росте. М.: Наука, 1975.
50. Бурлакова Е.Б. Биологические эффекты действия малых доз ионизирующего излучения на клеточные мембраны / Лекции 1 и 2 Школ по радиационной биологии в «Галактике». Обнинск (Калуж. обл.): 2003, с.40-53.

51. Вартанов Н.А., Самойлов П.С. Прикладная сцинтилляционная гамма-спектроскопия. 2-е изд. М.: Атомиздат, 1975, 406 с.
52. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука. 1956. 373 с.
53. Винничук М. М., Йохансон К., Долгилевич М. И. Источники поступления ^{137}Cs в мицелий грибов // Доп. Нац. АН України, 2003, №1, с. 180-185.
54. Виноградов А.П. Биологическая роль радиоактивного изотопа ^{40}K // ДАН СССР. 1956. Т.110. № 3. С. 375-378.
55. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР. 1957. 257 с.
56. Виноградов А. П. Научное наследство В. И. Вернадского // Химия земной коры. М.: Изд-во АН СССР. 1963. С.7-12.
57. Витковская С. Е., Дричко В. Ф., Мирюгина Т. А. Поступление ^{33}P и ^{125}Sb в растения в условиях водной культуры // Радиационная биология. Радиозэкология, 1997, т. 37, вып.1, с. 111-116.
58. Волкова О. Ю., Ташинская А. Д., Каган М.С. Воздействие излучений радона и продуктов его распада на процессы кроветворения // Мед. радиология. 1961. Т.6. № 9. С. 54-58.
59. Волкова О.Ю., Ташинская А.Д. Влияние радона и продуктов его распада на процессы кроветворения // Матер. Всерос. Науч. Конф. По вопросам радиотерапии. Пятигорск. 1962. С. 24-27.
60. Вълкова Н. Ефект на гама-лъчките при нови сортове памук // Растениевъд. Науки, 2002, 39, № 1-2, с. 14-16.
61. Воробьев Г.Т., Кошелев И.А., Прудников П.В. Состояние и динамика изменения радиоактивного загрязнения почв сельскохозяйственных угодий Брянской области. Проблемы радиозэкологии леса / Лес. Человек. Чернобыль: Сборник научных трудов междн. Научно-практ. конф. «Лес. Человек. Чернобыль», Гомель, 2004. Гомел: Изд-во ИЛ НАН Беларуси. 2004, с. 196-199.
62. Габлин В.А. Изучение нахождения радионуклидов в экологических средах // Тр. МосНПО «Радон». 2002, 2, №10, с.45-48.
63. Гапоненко В.И., Николаев Г.Н., Шевчук С.Н. Обновление хлорофилла и продуктивность растений. М.: Наука и техника, 1996, 247 с.
64. Гапоненко В.И., Кислушко П.М., Жебракова И.В., Монтик Т.А. Физиолого-биохимические проявления действия азотфоса-М у растений картофеля на загрязненной радионуклидами почве / Тезисы докладов III Международного симпозиума «механизмы действия сверхмалых доз», Москва, 2002, с. 62.
65. Гапоненко В.И., Шамаль Н.В. Физиолого-биохимические особенности растений ячменя и люпина при действии ионизирующей радиации и засухи / Тезисы докладов межд. конф. «Биологические эффекты малых доз

ионизирующей радиации и радиоактивное загрязнение среды». Сыктывкар, 2006, с.152.

66. Гарибов А.А, Гусейнов В.И, Гулиев Р.И, Нагиев Дж.А, Гулиев Э.Г *Радиоактивные отходы в нефтегазодобывающей промышленности и связанные с ними проблемы радиационной безопасности*” В Книге *Казахское Агентство Прикладной Экологии. Современные Проблемы Прикладной экология, Сборник Алматы 2007 ст.139- 143.*

67. Гераскин С.А. *Критический анализ современных концепций и подходов к оценке биологического действия малых доз ионизирующего излучения* // *Радиационная биология. Радиоэкология, 1995, т. 35, вып. 5, с. 563-570.*

68. Гераськин С.А. *Концепция биологического действия малых доз ионизирующего излучения на клетки* // *Радиационная биология. Радиоэкология, 1995, т. 35, вып.5, с. 571-580.*

69. Гераськин С.А., Дикарев В.Г., Дикарева Н.С., Спиринов Е.В. *Влияние раздельного радиоактивного и химического загрязнения на выход цитогенетических нарушений в интерколярной меристеме ярового ячменя* // *Радиационная биология. Радиоэкология, 2002, т. 42, №4, с. 364-368.*

70. Гераськин С.А., *Цитогенетические эффекты низкодозового облучения у растений в условиях раздельного и сочетанного с химическими мутагенами воздействия. Лекции 1и 2 школ про радиационной биологии в «Галактике». Обнинск, 2003, с.88-103.*

71. Гиль Т.В. *Особенности поглощения и закрепления ²²⁶Ra типичной сильноподзолистой почвой в зависимости от почвенных факторов и сопутствующих элементов* / *Радиоэкологические исследования почв, растений и животных биогеоценозов Севера. Сыктывкар, 1983, с. 84-88. (тр. Коми фил. АН СССР, №6).*

72. Гольданский В.И.. *О двупротонной радиоактивности.* // *УФН. 1983. Т. 141. Вып.4. с. 715-717.*

73. Гольданский В.И.. *Двупротонная радиоактивность (Перспективы обнаружения и изучения).* // *УФН. 1965. Т. 87. Вып. 2. с. 255-272.*

74. Гончаренко И.А. *Моделирование миграции ¹³⁷Cs в лесных экосистемах. Оценка радиологических последствий и эффективности защитных мероприятий при радиоактивном загрязнении: Автореф.дис. на соиск. уч. степ. канд. биол. наук. ВНИИ с.-х. радиол.и агроэкол., Обнинск (Калуж. обл.), 2001, 26 с.*

75. Гончаренко Е.Н., Кудряшев Ю.Б. *Гипотеза эндогенного фона радиорезистентности.* М.: Изд.-во МГУ. 1980. 176 с.

76. Гончарова Н.В. *Влияние сочетанного действия ионизирующих излучений и солей тяжелых металлов на фотосинтетический аппарат растений. Тезисы докладов IV съезда по радиационным исследованиям*

(радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность), Москва, 2001, том 2, с. 359.

77. Гончарова Н.В. Воздействие излучения поглощенных радионуклидов на некоторые метаболические процессы растений семейства бобовых // Физиол. и биохимия культ. раст., 2001, 33, № 6, с. 474-479.

78. Горизонтов П.Д., Москалев Ю.И., Святухин М.В. Основы радиационной биологии (под ред. А.М.Кузина). М.: Атомиздат. 1972. 321 с.

79. Граевский Э.Я. Сульфгидрильные группы и радиочувствительность. М.: Атомиздат. 1969. 145 с.

80. Гродзинский Д.М. Естественная радиоактивность растений и почв. Киев: Наук. думка. 1965. 216 с.

81. Гродзинский А.М., Гродзинский А.Д. Краткий справочник по физиологии растений. Киев: Наук. думка, 1972, 592 с.

82. Гродзинский Д.М. Радиобиология растений. Киев: Наук. думка, 1989, 384 с.

83. Гудков И.Н. Основы общей и сельскохозяйственной радиобиологии. Киев: Наук. думка, 1985, 224 с.

84. Гудков И. Н., Кицино В.Е., Грисюк С. Н., Ткаченко Г. М., Иванова Е.А., Саенко К.В., Гуральчук Ж.З. Противолучевая защита растений с помощью солей металлов в условиях радиоактивного загрязнения территории // Радиационная биология. Радиоэкология, 1999, т. 39, №2-3, с. 349-353.

85. Гудков И.Н., Груща В.В. Мікроелементи як блокувальники надходження радіонуклідів у рослини та як радіопротектори // Физиол. и биохимия культ. раст., 2004, 36, №3, с. 205-216.

86. Гуськова А.К., Байсоголов Г.Д. Лучевая болезнь человека. М.: Медицина. 1971, 180 с

87. Гуськова А.К., Садчикова Э.Н. 30 - летнее изучение лиц, подвергшихся атомной бомбардировке в Хиросиме и Нагасаки // Журнал японского общества радиационных исследований, 1975: Медицинская радиология, 1977, №8, с. 69-77.

88. Гуща Н.И., Перковская Г.Ю., Дмитриев А.П., Гродзинский Д.М. Влияние хронического облучения на адаптивный потенциал растений // Радиационная биология. Радиоэкология, 2002, т. 42, №2, с. 155-158.

89. Даниленко А.И., Шевченко И.Н. Природная бета-радиоактивность растений, животных и человека. Киев: Наук. думка. 1981. 199 с.

90. Данилин И.А., Дикарев В.Г., Гераськин С.А., γ - Излучение увеличивает синтез фитохелатинов в проростках ярового ячменя // Радиационная биология. Радиоэкология., 2004, 44, №1, с.89-92.

91. Данильченко О.О., Гродзінський Д.М. Радіоадаптивна відповідь у *Arabidopsis thaliana* // Доп. Нац. АН України, 2001, №3, с. 165-168.

92. Действие ионизирующей радиации на биогеоценоз (под ред. М.С. Гилярова, Р.М. Алексахина). М.:Наука.1988. 240 с.

93. Дементьев Д.В., Болсуновский А.Я. Радионуклиды в компонентах экосистем в зоне воздействия горно-химического комбината (г. железногорск) // Тезисы докладов V съезда по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность), Москва, 2006, том 2, с. 99.

94. Джафаров Э.С., Оруджева Дж. Р., Абдуллаева Г.А. Переход техногенных радионуклидов из почвы в растения в зоне повышенного радиационного фона на территории Бакинского йодового завода / Матер. IV Баховской конф. по радиационной химии. Москва, 2005, с. 41.

95. Джафаров Э.С., Оруджева Дж.Р. Исследование миграции природных радионуклидов из почвы в разные органы растений, произрастающих в зоне повышенного радиационного фона. Матер. V съезда по радиационными исследованиям, Москва, 2006. с. 100.

96. Джафаров Э.С., Джафарлы А.К. Исследование синтеза хлорофиллов на основе изучения активности ферментов антиоксидантной защиты растений. Вестник Ужгородского Национального Университета (биолог. науки), 2010, вып. 27, №1-4, стр. 1-4.

97. Дмитриев А.П., Крыжановская М.С., Гуца Н.И. Малые дозы хронического облучения влияют на защитные реакции растений при биотическом стрессе / 3 Межд. симпозиум «Механизмы действия сверхмалых доз» Москва, 2002: Тезисы докладов. – М., 2002, с.

98. Добрачев Ю.П. Влияние малых величин поглощенных доз гамма-излучения на рост нормальных фибробластов в первичной культуре // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечеб. физ. культуры. 1973. №1. С.48-51.

99. Доклад Научного комитета ООН по действию атомной радиации. В трех томах. Нью-Йорк: Организация Объединенных Наций. 1972. Т.1. 881 с. (НКДАР, 1972).

100. Доклады Генеральной Ассамблеи ООН Научного Комитета по Действию Атомной Радиации. 1982.

101. Доклад Научного комитета ООН по действию атомной радиации. В трех томах. Нью-Йорк: Организация Объединенных Наций. 1982. Т.1. 881 с. (НКДАР, 1982).

102. Долгова Т.А., Бабак Е.Н., Кузнецова Ю.А., Семейкина Т.О., Тимеченко Д.С., Шестопалова Н.Г. Цитологические и морфологические проявления радиоадаптивного ответа у растений в связи с генотипом, условиями выращивания и старением семян. Биология – наука XXI века: 7 Пущинская школа-конференция молодых ученых, Сборник тезисов. Пущино, 2003, с.166.

103. Дубров А. П. Действие УФ - радиации на растения. М.: Изд-во АН СССР. 1963, 124 с.

104. Дубров А.П. Экология жилища и здоровье человека. Уфа: «Слово», 1995, 270 с.

105. Дховский П., Юкнис Р., Бразайтите А., Жукаускайте И. Реакция растений на комплексное воздействие природных и антропогенных стрессоров // Физиология растений, 2003, т. 50, №2, с. 165-173.

106. Евсеева Т.И., Гераскин С.А. Цитогенетические эффекты раздельного на совместного действия нитратов тория-232 и калия на традесканцию (клон 02) // Цитология, 2000, 42, №8, с. 822-828.

107. Евсеева Т.И., Гераскин С.А. Закономерности индукции цитогенетических нарушений в клетках меристем растений при сочетанном действии тяжелых естественных радионуклидов, тяжелых и щелочных металлов // Радиационная биология. Радиоэкология, 2003, т. 43, №4, с. 470-475.

108. Егоров Ю.А. Сцинтилляционный метод спектрометрии гамма-излучения и быстрых нейтронов. М.: Атомиздат, 1967, 250 с.

109. Ельчищев Е.А. Профильное и пространственное распределение естественных и искусственных радионуклидов в основных почвах средней тайги Широтной Оби : Автореф. дис. канд. с.-х. наук. Барнаул : Алтайск. Гос. Аграр. Ун-т., 2000, 17 с.

110. Ермолаева – Маковская А.П., Рамзаев П.В., Троицкая М.Н. Биологическое действие внутреннего облучения цезия-137 и стронция-90 на мышей в хроническом эксперименте // Теоретические и практические аспекты действия малых доз ионизирующей радиации. Сыктывкар. 1973. С.15.

111. Еськов Е.К., Левин В.И. Специфичность дистанционного воздействия γ -облученных семян на необлученные // Радиационная биология. Радиоэкология, 2002, т. 42, №3, с. 302-307.

112. Ефремов А.Л. Сорбция радионуклидов в почве органоминеральными комплексами и микробиотой. Тезисы докладов IV съезда по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность), Москва, 2001, том 2, с. 695.

113. Жуков М.С. Сравнительное изучение роли калия и натрия в жизни растения // Физиология растений. 1964. Т.11. вып. 2. С. 181-187.

114. Журовская А.Н., Стогний В.В., Кершенгольц Б.М. Зависимость радиочувствительности семян растений от экологических условий места произрастания // Радиационная биология. Радиоэкология, 1998, т. 38, вып. 5, с. 706- 712.

115. Заболотный А.И., Гончарова Н.В., Домаш В.И. и др. Влияние аккумуляции радионуклидов аварийных выпадений Чернобыльской АЭС на фотосинтетические процессы и азотный обмен люпина желтого // Физиология и биохимия культ. растений, 1995, т.27, №3, с.216-227.

116. Зюсс Р., Кинцель В., Скрибнер Дж..Д., Рак: эксперименты и гипотезы / Пер. с англ., М.: Мир, 1977, с. 360.

117. Иванов В.И. Курс дозиметрии. М.: Атомиздат, 1978, 743 с.

118. Иванов В.И., Давыдова И.В., Гусаров В.И., Сухарев А.Н. Результаты предпосевного γ – облучения семян сахарной свеклы сорта Л-52 // *Аграр. Наука*, 2001, №7, с.20-21.

119. Иким Ю.Г., Скорпан В.Г., Лысиков В.Н. Исследование увеличения выхода мутантных форм в радиационном мутагенезе / 2 Съезд Вавиловского общества генетиков и селекционеров. Санкт-Петербург, СПб, 2000, т.1, с. 213-314.

120. Источники и действие ионизирующей радиации. Доклад Научного комитета ООН по действию атомной радиации. В трех томах. Нью-Йорк: Организация Объединенных Наций. 1977. Т.1. 828 с. (НКДАР, 1977).

121. Ионизирующее излучение: источники и биологические эффекты. Доклад Научного комитета ООН по действию атомной радиации. В трех томах. Нью-Йорк: Организация Объединенных Наций. 1982. Т.1. 881 с. (НКДАР, 1982).

122. Йорданова Р.И., Алексеева В.С., Попова Л.П. Влияние затопления корневой системы на фотосинтез и содержание антиоксидантов в растениях ячменя // *Физиология растений*, 2003, т. 50, №2, с. 183-187.

123. Кадука М.В., Шутов В.Н., Брук Г.Я., Балонов М.И., Кравцова О.С. Оценка уровней поступления ^{137}Cs в лесные грибы по данным о свойствах почвы // *Здоровье населения и среда обитания*. Инф.бюл. 2005, №5, с.5-9.

124. Казымбет П.К., Имашева Б.С., Бахтин М.М. Концентрация радионуклидов в природных объектах окружающей среды вблизи уранодобывающих территорий северного Казахстана / Тезисы докладов междунар. Конферен. «Биологические эффекты малых доз ионизирующей радиации и радиоактивное загрязнение среды», Сыктывкар, 28 феврал-3 марта 2006 г. с.14.

125. Калиниченко С.А. Оценка биодоступности радионуклидов из почвы в организм крупного рогатого скота *in vitro* методом // *Радиационная биология. Радиоэкология*, 2002, т. 42, №3, с. 341-344.

126. Калыгин В.Г. *Промышленная экология*. М.: МНЭПУ. 2000. 240 с.

127. Карабаджак И.Г. Естественная радиоактивность почвообразующих пород Днестровско-Прутского междуречья // *Теоретические и практические аспекты использования ионизирующего излучения в сельском хозяйстве*. Кишинев. 1976. С.193- 194.

128. Карпачевский Л.О. *Лес и лесные почвы*. М.: Лег. Пром-сть, 1981, 264 с

129. Кирюжина Н.Н., Шахиджанов Ю.С. Радиоактивное загрязнение регионов в результате проведения ядерных испытаний в интересах народного хозяйства. *Экология и промышленная безопасность: Сборник трудов*. Газпром. ВНИИГАЗ. М., 2003, с. 497-498.

130. Кнатко В.А., Агеец В.Ю., Шмигельская И.Д., Ивашевич И.И. Оценка зависимости коэффициента перехода ^{137}Cs из почвы в картофель от

содержания в почве ^{137}Cs и элементов минерального питания растений // Радиационная биология. Радиоэкология. 1999, т. 39, №6, с. 675-682.

131. Ковальский В.В., Воротницкая И.Е., Лекарев В.С., Никитина Е.В. Урановые биогеохимические пищевые цепи в условиях Иссык-Кульской котловины // Труды биогеохимической лаборатории АН СССР. 1968. Т.12. с. 5-122.

132. Коллиер Дж., Хьюитт Дж. Введение в ядерную энергетику (пер. с англ. Бойко В.И. и др.). М.: Наука. 1989. 751 с.

133. Коломеец Е.В., Барсуков О.А., Айтмухамбатов А.А. Радиационная опасность полетов самолетов и других летательных аппаратов. Алма-Ата: Санком. 1997. 264 с.

134. Кольчужкин А.М., Учайкин О.В. Введение в теорию прохождения частиц через вещество. М.: Атомиздат, 1978. 254 с.

135. Коноплев А.В. Подвижность и биологическая доступность радиоцезия и радиостронция аварийного происхождения в системе «почва-вода»: Автореф. дис. д-ра биол. наук. Обнинск, 1998, 48 с.

136. Коноплев А.В., Коноплева И.В. Параметризация перехода ^{137}Cs из почвы в растения на основе ключевых почвенных характеристик // Радиационная биология. Радиоэкология, 1999, том 39, №4, с. 455-461.

137. Коноплева И.В., Авила Р., Булгаков А.А., Йохансон К, Коноплев А.В., Попов В.Е. Метод оценки биологической доступности ^{137}Cs в лесных почвах // Радиационная биология. Радиоэкология, 2002, т. 42, №2, с. 204-210.

138. Кононова Г.А., Ляпкало А.А. Особенности миграции радионуклидов в почвах лесных экосистем Рязанской области // Влияние природ. и антропог. факторов на социоэкосистемы, 2003, №2, с. 92-96.

139. Коноплева И.В., Клемт Е., Цибольд Г., Коноплев А.В. Динамика накопления в растениях и оценка биологической доступности ^{137}Cs в почвах предальпийских лесов германии // Тезисы докладов V съезда по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность), Москва, 10-14 апреля 2006 г., том 2, с. 111.

140. Коровин В.В., Лазуков М.И., Мишуков Н.П., Чупрунов С.В. Содержание золы, ^{90}Sr и ^{137}Cs в органах и тканях модельных деревьев на территории ВУРСА // Науч. Тр. Мос. Гос. Ун –т леса, 2000, № 303, с. 128-132.

141. Корсеко М.Н. Биологическое действие природного радиоактивного фона на растительные организмы / Тезисы докладов III Международный симпозиум «механизмы действия сверхмалых доз», Москва, 3-6 декабря 2002 г. с. 94.

142. Косаковская И.В., Гудкова Н.В. Синтез кислоторастворимых ядерных белков в проростках озимой пшеницы под действием гамма-радиации и высокой температуры // Доп. Нац. АН України. 2004, №7, с. 160-162.

143. Кравец Е.А., Гродзинский Д.М. Патологические последствия хронического облучения в репродуктивной системе ржи в последовательном ряду поколений. 4-й Съезд о-ва физиологов раст. Росси / Междунар. конф. «Физиол. раст. –наука 3-го тысячелетия», Москва, 4-9 окт. 1999. Тез. докл. Т. 1, М. 1999, с. 392.
144. Крапивский Е.И. Радиоэкологический мониторинг территорий и оборудования нефтегазового комплекса // Экол. Химия. 2004, 13, №4, с. 236-243.
145. Краснов М.С., Маргасюк Д.В., Ямсков И.А., Ямскова В.П. Действие новых регуляторных белков из растений в сверхмалых дозах // Радиационная биология. Радиозэкология, 2003, т. 43, №3, с. 269-272.
146. Крилов В.Ф., Книжников В.А., Коренков И.П. Радиационная гигиена. М.: Медицина, 1988, с.195.
147. Крук А.В., Гончаренко Г.Г., Кильчевский А.В. Анализ накопления радионуклидов различными сортами моркови // Изв. Гомел. Гос. Ун-та, 2004, №3, с.51-54.
148. Кудрицкий Ю.К. Материалы к проблеме биологического действия малых доз ионизирующей радиации: Автореф. дис. д.-ра мед. наук. Л., 1967. 40 с. 1967;
149. Кудрицкий Ю.К., Карпов В.И. Гигиеническое значение биологической эффективности естественного фона ионизирующего излучения: Обзор. информ. Медицина и здравоохранение. Сер. Гигиена.1984. Вып. 3. 65 с.
150. Кудряшов Ю.Б. Радиационная биофизика (ионизирующие излучение).Москва. Физматлит. 2004. 442 с.
151. Кузин А.М. Структурно-метаболическая гипотеза в радиобиологии. М.: Наука, 1970, 247 с.
152. Кузин А.М. Молекулярная радиобиология клеточного ядра. М.: Атомиздат, 1973, 208 с.
153. Кузин А.М., Современное состояние проблемы радиотоксинов и ее место в структурно-метаболической теории в радиобиологии, -В кн.: Роль и механизмы действия биологически активных соединений в гамма-облученном организме. Всесоюз. симп. тезисы док., 1976, с. 27.
154. Кузин А.М. Стимулирующее действие ионизирующего излучения на биологические процессы. М.: Атомиздат. 1977. 133 с.
155. Кузин А.М. Структурно-метаболическая теория в радиобиологии. М.: Наука, 1986. 284 с.
156. Кузин А.М. Особенности механизма действия атомной радиации на биоту в малых, благоприятных для нее дозах. Пущино, 1989, 24 с.
157. Кузин А.М. Природный радиоактивный фон и его значение для биосферы земли. М.: Наука, 1991. 116 с.
158. Кузин А.М. Отдаленные последствия влияния малых доз радиации // Успехи современной биологии, 1995, т.115, вып.2, с.133-140.

159. Кузин А.М., Каушанский Д.А. Прикладная радиобиология. М.: Энергоиздат. 1981. 222с.
160. Кузин А.М., Сложеникина Л.В., Фиалковская Л.А. и др. О роли естественного радиационного фона в развитии организмов // Радиобиология. 1985. Т.25. Вып. 4. с. 572. Деп. В ВИНТИ, № 2555.
161. Кузин А.М., Суркенова Г.Н., Ревин А.Ф. Нативный белок, возбужденный γ -радиацией в малых дозах, как источник вторичных биогенных излучений // Радиационная биология. Радиоэкология, 1996, т.36, вып.2, с.284-290.
162. Куликов Н.В., Молчанова И.В., Караваева Е.Н. Радиоэкология почвенно-растительного покрова. Свердловск: УрО АН СССР, 1990, 170 с.
163. Куликов Н.В., Альщиц Л.К., Позолотин А.А. Исследование радиорезистентности некоторых растений // Радиобиология, 1991, Т, 31, вып.4, с. 441-446.
164. Курец В.К., Дроздов С.Н., Попов Э.Г., Таланов А.В., Дембо Е.Д. Температурный градиент воздух-почва как фактор оптимизации нетто-фотосинтеза интактных растений // Физиология растений, 2003, т. 50, №1, с. 81-87.
165. Куцоконь Н.К., Рашидов Н.М., Гродзинский Д.М. Цитогенетические эффекты ^{241}Am в Allium-тесте: Докл. [Международная конференция «Генетические последствия чрезвычайных радиационных ситуаций», Москва, 10-13 июня, 2002]. // Радиационная биология. Радиоэкология, 2002, 42, № 6, с.675-677.
166. Левин В.Е., Хамьянов Л.П. Измерение ядерных излучений. М.: Атомиздат, 1979. 223 с.
167. Летунова С.В., Ковальский В.В. Геохимическая экология микроорганизмов. М.: Наука. 1978. 127 с.
168. Липатов Д.Н., Манахов Д.В., Вежливцева Л.А. Миграции ^{137}Cs в залежных и пахотных почвах Тульской области // V съезд по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность), Москва, 10-14 апреля 2006 г., том 2, с. 118.
169. Лосик Н.В., Гребенщикова Н.В., Белоусов Э.В. Радиоэкологические и экономико-правовые аспекты землепользования после аварии на ЧАЭС. Ч. 2. Киев, 1991, с. 191-200.
170. Майоров М.Е. Исследование радиоактивного загрязнения и противопожарной устойчивости люпина многолетнего // Тр. Беларус. Гос. Технол. Ун-та, 2003, сер.1, №11, с. 85-88, 307с.
171. Маликов В.Г., Жуков Б.И., Перепелятникова Л.В. Накопление урана и тория из почвы сельскохозяйственными культурами в условиях Северного Кавказа // II Всесоюз. конф. по с.-х. Радиологии: Тез. докл. Обнинск. 1984. Т.1. С.121.

172. Малиновский Ю.Ю., Рашидов Н.М. Миграция радионуклидов из «горячих» частиц в корнеобитаемый слой почвы и их поступление в культурные растения // Физиол. и биохимия культ. раст., 2002, 34, №2, с.132-137.

173. Малцев В.Ф., Ториков В.Е., Маркина З.Н., Торикова О.В. О накоплении радионуклидов в почва растениях и продукции // Агро. XXI, 1999, № 10, с. 21.

174. Маргулис М.А., Маргулис И.М. О механизме биологического действия ионизирующей радиации // Журнал физической химии, 2005, т. 79, №6, с. 1142-1151.

175. Маркина З.Н., Воробьев Г.Т., Новиков А.А., Ковалев Л.А. Технология реабилитации почв, загрязненных радионуклидами // Агротехн. вестн., 2003, №1, с. 21-24.

176. Матишов Д.Г., Матишов Г.Г. Радиационная экологическая океанология. РАН Кольской Научный Центр Мурманский морской биологический институт, «Апатиты», 2001, 417 с 133.

177. Маслова Т.Г., Мамушина Н.С., Зубкова Е.К., Войцеховская О.В. Особенности пигментного аппарата пластид и фотосинтеза в листьях эфемериодов и летневегетирующих растений в связи с проблемой фотоингибирования // Физиология растений, 2003, т. 50, №1, с. 59-64.

178. Миловидова И.А. К вопросу о лучевой катаракте // Биологические эффекты малых доз радиации. М.: ИБФ МЗ СССР. 1983, с. 31-35

179. Мирошниченко Т.А., Салманов А.Б., Абдуллаева А.С., Бутаев А.М. О роли почвообразующей породы в накоплении урана-238 и тория-232 в гумусовом слое почв большого Кавказа / Тезисы докладов IV съезда по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность), Москва, 20-24 ноября 2001 г., том 2, с. 660.

180. Михайлов О.Ф., Пересынкина Т.Н. Влияние рентгеновского облучения на процессы образования адвентивных органов у изолированных семядолей подсолнечника.- В кн.: Научный сборник., т.14, Вопросы радиационной и химической экологии организмов. Днепропетровск, 1970, 60 с.

181. Моисеенко Ф.В., Шлык Д.П., Воробьева Л.А., Харкевич Л.П. Роль гумуса как фактора снижения накопления ¹³⁷Cs в клубнях картофеля на дерново-подзолистой песчаной почве / Агрэкологические функции органического вещества почв и использование органических удобрений и биоресурсов в ландшафтном земледелии: Сборник докладов международной научно-практической конференции. Владимир. 1-5 июня, 2004, М., 2004, с.131-133.

182. Мокроносов А.Т. Онтогенетический аспект фотосинтеза. М.: Наука, 1981. 196 с.

183. Молчанова И.В., Караваева Е.Н. Эколого-геохимические аспекты миграции радионуклидов в почвенно-растительном покрове. Екатеринбург: изд-во УрО РАН, 2001, 161 с.

184. Москалев Ю.В. Радиобиология инкорпорированных радионуклидов. М.: Энергоатомиздат, 1989, 264 с.
185. Москалев Ю.И. Отдаленные последствия воздействия ионизирующей радиации. М.: Медицина. 1991, с.74-85
186. Мукушева М.К., Такибаев Ж.С., Панин М.С., Кайрамбаев С.К., Кислухин А.Г. Радиоэкологическая обстановка и миграция радионуклидов в системе почва – растение на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона // Сиб. экол. ж. 2003, 10, №2, с. 145-154.
187. Мухин К.Н. Введение в ядерную физику. М.: Энергоатомиздат, 1982. Т.1. 584 с.
188. Мухин К.М. Занимательная ядерная физика. М.: Энергоатомиздат. 1985. 312 с.
189. Назиров Н.Н. Действие ионизирующей радиации на интенсивность фотосинтеза и дыхания у различных по скороспелости сортов хлопчатника // Физиология растений. 1964. Т.1. Вып.2. С.328-324.
190. Национальный доклад о состоянии окружающей среды Армении в 2002 году. Ереван 2003. 135 с.
191. Носкова Л.М. Мониторинг содержания естественных радионуклидов на хвострохранилище бывшего радиевого производства / Тезисы докладов V съезда по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность), Москва, 10-14 апреля 2006 г., том 2, с. 130.
192. Носкова Л.М., Шуктомова И.И., Рачкова Н.Г. Миграция естественных радионуклидов в системе почва-растение на территории бывшего радиевого промысла / Тезисы докладов междунар. конферен. «Биологические эффекты малых доз ионизирующей радиации и радиоактивное загрязнение среды», Сыктывкар, 28 февраля - 3 марта 2006 г. с.25.
193. Опарин А.И. Происхождение жизни. М.: Моск. рабочий. 1924. 125 с.
194. Опарин А.И. Возникновение жизни на Земле. М.: Изд-во АН СССР. 1-е изд. 1936. 458 с.
195. Опарин А.И. Возникновение жизни на Земле. М.: Изд-во АН СССР. 2-е изд. 1941. 458 с.
196. Опарин А.И. Возникновение жизни на Земле. М.: Изд-во АН СССР. 3-е изд. 1957. 458 с.
197. Оруджева Дж.Р., Джафаров Э.С. Некоторые особенности распределения природных радионуклидов в разных органах растений, произрастающих в зоне повышенного радиационного фона. Радиационная биология и радиоэкология, 2007, т.47, №2, с. 241-246.
198. Оруджева Дж. Р., Джафарли А.К., Джафаров Э.С. Воздействие излучения поглощенных радионуклидов на тонкую структуру фотосинтетического аппарата парнолистника (*Zygophyllum L.*) / Межд. научно-практическая конф. «Отдаленные последствия воздействия ионизирующего излучения», Киев, 2007, с. 89-91.

199. Отаров А. Радионуклиды в растительном покрове нижнего течения реки Или. 2. Особенности поступления радионуклидов в растения // Вестн. (Каз НУ). сер. экол. 2003, №2, с. 42-46.
200. Отчет Международного Агентство по Атомной Энергетике. 1984 г.
201. Павловская Т.Е. Абиогенный синтез биологически важных соединений // Проблемы возникновения и сущности жизни. М.: Наука. 1973. С.38-72.
202. Панасенко С.М. Вопросы радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных земель Могилевской области / Актуальные проблемы экологии на рубеже третьего тысячелетия и пути их решения: Межд. Научно-практическая конф. Брянск, 15- 17 июня, 1999, ч.2, Брянск: изд-во БГСХА. 1999, с. 199-203.
203. Панфиоров В.И., Якушев В.И., Мартинович Б.С. Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси. Минск: Навука и тэхніка, 1995, 582 с.
204. Пащенко В.М., Лысиков В.Н. Возможности сенсibilизированного фотомутагенеза по индуцированию генетической изменчивости у растений // Радиационная биология. Радиоэкология, 2000, т. 40, №3, с. 292-298.
205. Пельгунов А.Н. Загрязнение, контроль, анализ и охрана экологических систем // Экол. системы и приборы. 2002, №2, с. 18-21.
206. Пинский Д.Л. Ионнообменные процессы в почвах. Пуццино: 1997, 166 с.
207. Поликарпов Г.Г. Радиоэкология морских организмов. М.: Атомиздат. 1964. 295 с..
208. Подояк А.Г., Арастович Т.В., Одинцова Л.Е., Ивашкова И.И. Накопления радионуклидов в кормах // Агрехим. вести. 2005, №3, с. 24-26.
209. Позолотина В.Н. Отдаленные последствия действия радиации в чреде поколений у растений-Апомиктов // Радиационная биология. Радиоэкология, 2003, т. 43, №4, с. 443-451.
210. Прайс В. Регистрация ядерного излучения. Пер. с англ. М.: ИЛ, 1964, 464 с.;
211. Пронин А.Н., Кандашова Е.В., Бирюкова О.А., Давыдов М.Г., Абрамова Т.И. Радионуклиды в доминантных видах растений 30 км зоны влияния Волгодонский АЭС // Экология и биология почв. Материалы международной научной конференции. Ростов-на-Дону, 21-22 апр., 2005. к 90-летию Ростовского гос. Университета. Ростов н/Д, 2005. с.426-429.
212. Пустовойтова Т.Н., Дроздова И.С., Жданова Н.Е., Жолкевич В.Н. Рост листьев интенсивность фотосинтеза и содержание фитогормонов у *Cucumis sativus* при прогрессирующей почвенной засухе // Физиология растений, 2003, т. 50, №4, с. 496- 498.
213. Радиация. Дозы, эффекты, риск. Пер. с англ. М.:Мир, 1990, 80 с.

214. *Радиоохемозэкология Черного моря / Под ред. Г.Г. Поликарпова, Н.С. Рысика. Киев: Наук. Думка. 1977. 231 с.*
215. *Рачкова Н.Г., Шуктомова И.И. Вертикальная миграция тяжелых естественных радионуклидов и трансформация их водорастворимых форм в почве подзолистого типа // Тр. Коми науч.центра УР РАН. 2000, №164, с. 132-141, 156.*
216. *Рачкова Н.Г., Шуктомова И.И., Таскаев А.И. Вертикальное распределение урана, радия и тория в радиоактивно загрязненной почве подзолистого типа // Тезисы докладов межд. конф. «Биологические эффекты малых доз ионизирующей радиации и радиоактивное загрязнение среды», Сыктывкар, 28 феврал - 3 марта 2006 г. с.26.*
217. *Рекомендации МКРЗ. Радиационная защита. Публикация 60. Пер. с. Англ.*
218. *Рекомендации МКРЗ 1990 года. Радиационная защита (Пер. с англ.). Публикация 60. Москва. 2009. 344 с.*
219. *Романцев Е.Ф. Радиация и химическая защита. М.: Атомиздат. 1968. 215 с.*
220. *Романюк С.С., Александров В.В., Мизунов В.И., Ковалев Б.В. Нефтегазодобыча и природные радионуклиды // Информационный бюллетень «О состоянии окружающей природной среды Ханты-Мансийского автономного округа в 2001 году», НПЦ «Мониторинг». Ханты-Мансийск: изд-во НПЦ «Мониторинг», 2002, с. 34-37.*
221. *Сааков В.С. Особенности действия γ - излучения на тонкую структуру фотосинтетического аппарата; оценка характера нарушений *in vivo* с помощью производных спектров высоких порядков // Докл. РАН. 2002, №2, с. 265-271.*
222. *Сааков В.С. Особенности структурной устойчивости светособирающего комплекса фотосистемы II при воздействии γ - облучения // Докл. РАН. 2000, №1, с. 112-116.*
223. *Савин В.Н. Действие ионизирующего излучения на целостный растительный организм. М.: Энергоиздат. 1981. 120 с.*
224. *Салаев. М. Э. Диагностика и классификация почв Азербайджана. Баку: 1991, 239 с.*
225. *Самошкин Е.Н., Мурахтанов Е.С. Радиационное поражение и восстановление живых клеток организмов. Брянск: изв-во БГИТА, 1997, 55 с.*
226. *Святова Г.С., Абильдинова Г.Ж., Березина Г.М. Результаты цитогенетического исследования популяций различного радиационного риска Семипалатинского региона // Генетика. 2002, 38, №3, с. 376-382.*
227. *Серебряный А.М., Зоз Н.Н. Радиационный адаптивный ответ у пшеницы. Феноменология и вероятный механизм // Радиационная биология. Радиоэкология, 2001, т. 41, №5, с. 589-598.*

228. Серегин И.В., Иванов В.Б. Гистохимические методы изучения распределения кадмия и свинца в растениях // Физиология растений, 1997, т. 44, с. 915-921.

229. Серегин И.В., Кожевникова А.Д., Казюмина Е.М., Иванов В.Б. Токсическое действие и распределение никеля в корнях кукурузы // Физиология растений, 2003, т.50, с. 793-800.

230. Серегин И.В., Кожевникова А.Д. Транспорт, распределение и токсическое действие стронция на рост проростков кукурузы // Физиология растений, 2004, т. 51, №2, с. 241-248.

231. Скулачев В.П. Биоэнергетика. Мембранные преобразователи энергии. М.: Высшая школа, 1989.

232. Смолянина С.О., Цетлин В.В., Корсак И.В., Беркович Ю.А. Влияние радиационного фактора космического полета на рост пекинской капусты и микромицетов *Fusarium oxysporum* // Радиационная биология. Радиоэкология, 2006, т. 46, №1, с.37-44.

233. Соколик А.И., Демко Г.Г., Горобченко Н.Е., Юрин В.М. Основные механизмы поступления ¹³⁷Cs в корневую систему растений // Радиационная биология. Радиоэкология, 1999, т. 40, вып. 5, с. 787-795.

234. Соколик Г.А., Овсянникова С.В., Иванова Т.Г., Лейнова С.Л. Снижение подвижности плутония и америция в почвенно-растительном покрове // Тезисы докладов IV съезда по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность), Москва, 20-24 ноября 2001 г., том 2, с. 570.

235. Соколик Г.А., Овсянникова С.В., Кимленко И.М. Поведение плутония и америция в системе «почва – вода – карбоксильная смола» // Докл. Нац. АН Беларуси, 2003, т. 47, №3, с.711-717.

236. Спирин Е.В., Алексахин Р.М., Калмыков М.В. и др. Переход в цепи почва – корм – продукция животноводства на территории, загрязненной радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология, 2006, т. 46, №1, с. 77-81.

237. Ставицкий Р.В., Лебедев Л.А., Мехеечев А.В., Жаннина Т.В. Анализ эффектов действия малых доз ионизирующего излучения // Мед. Техн., 2002, № 2, с. 37-43.

238. Столяров Г.В. Эффективность возделывания кукурузы в зоне радиоактивного загрязнения // Кукуруза и сорго., 2002, № 6, с. 6-7.

239. Сточний В.В. Районирование территории России по радиустойчивости семян растений степных и луговых фитоценозов / Экология и рациональное природопользование на рубеже веков. Итоги и перспективы: Материалы международной конференции. Томск, 2000, т. 3, с. 100-101.

240. Сточний В.В. Модификация радиочувствительности дикорастущих растений как следствие биохимической адаптации к

климатическим условиям региона произрастания / 4-й съезд-ва физиологов раст. Росси. междунар. конф. «Физиол. Раст. –наука 3-го тысячелетия», Москва, 1999, Т. 1, с. 465-466.

241. Тарханов И.Р. //Известия СПб биол. лаборатории АН .1896. Т.1. № 3. С.47

242. Таскаев А.И. Парциальный вклад отдельных радионуклидов (U, Th, Ra, Rn в общую альфа – активность наземной массы и корневой системы растительность // II Радиобиол. конф. соц. стран. Варна. 1978. С. 115-121.

243. Тимофеев С.Ф., Новик А.А., Пяткова Г.Г. и др. Радиоэкологические и экономико- правовые аспекты землепользования после аварии на ЧАЭС. Киев: 1991, Ч. 2, с. 193-196.

244. Титаева Н.А., Таскаев А.И. Миграция тяжелых естественных радионуклидов в условиях гумидной зоны. Л.: Наука, 1984, 232 с.

245. Тишкевич Т.К., Петрович И.С., Заболотный А.И. и др. Изменение характеристик растений люпина под влиянием инкорпорированных радионуклидов // Док. АН Беларуси, 1993, т.37, №1, с.54-57

246. Тордія Н.В., Гродзінський Д.М., Данильченко О.О. Вплив іонізуючого випромінювання на Рух цитоплазми в клінах *Elodea canadensis* // Доп. Нац. АН України. 1999, №6, с. 179-182.

247. Трунов М.И. Загрязнение окружающей среды радионуклидами // Антропогенное воздействие на лесные экосистемы: Материалы 2 международной конференции, Барнаул, 18-19 апр. 2002: Тезисы докладов. Барнаул. Изд-во Алт. Гос. Ун-та. 2002, с. 74-76.

248. Усманов С.М. Радиация: Справочные материалы. М.: Гуманит. изд центр ВЛАДОС. 2001. 176 с.

249. Ушаков И.Б., Карпов В.Н. Мозг и радиация. М.:ГНИИ авиационной и космической медицины. 1997, 72 с

250. Федоров В.Н., Елиавшевич Н.В. Аккумуляция радионуклидов в плодовых телах макромицетов // Радиационная биология. Радиоэкология, 2000, т. 40, №6, с. 702- 709.

251. Фесенко С.В., Санжарова Н.И., Спиридонов С.И., Сухова Н.В. Сравнение оценка биологической доступности ¹³⁷Cs в почвах лесных экосистем различного типа // Радиационная биология. Радиоэкология, 2002, т. 42, №4, с. 440-447.

252. Фесенко С.В., Спиридонов С.И., Санжарова Н.И., Анисимов В.С., Алексахин Р.М. Моделирование миграции ¹³⁷Cs в системе почва - растения на торфяных почвах, подвергшихся загрязнению после аварии на Чернобыльской АЭС // Экология, 2002, №3, с. 185-192.

253. Филипас А.С., Ульяненко Л.Н., Пименов Е.П., Степанчикова Н.С., Моисеенко Ф.В. Некоторые аспекты экологизации возделывания картофеля на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению / Региональная научно-практическая конференция «Инновационное развитие: достижения

ученых Калужской области для народного хозяйства», посвященная Дню науки, Обнинск, 16 апр., 1999: Сборник тезисов докладов. – Обнинск, 1999, с.157-158.

254. Фирсакова С.К., Жученко Ю.М., Фесенко С.В., Кучма Н.Д., Дворник А.М. Оценка эффективности защитных мероприятий по снижению дозовых нагрузок на сельское население, обусловленных продукцией лесных экосистем // Радиационная биология. Радиоэкология, 2002, т. 42, №2, 211-215.

255. Холл Э.Дж. Радиация и жизнь (перевод с англ.). М.: Медицина. 1989. 256 с.

256. Хотько Э. И., Михальцова З.А., Шуктонова И.И. Биологические основы освоения, реконструкции и охраны животного мира Белоруссии // Тез. докл. зоол. конф. 20-21 дек. 1983. Минск. 1983. С. 78.

257. Цветнова О.Б., Щеглов А.И. Радионуклиды в травяно-кустарничковом ярусе лесных биогеоценозов // Радиационная биология. Радиоэкология, 1999, том 39, №4, с. 462-467.

258. Цыбулька Н.Н., Черныш А.Ф., Еишук Л.А., Жукова И.И. Горизонтальная миграция ^{137}Cs при водной эрозии почв // Радиационная биология. Радиоэкология, 2004, т.44, №4, с.473-477.

259. Цыпугина В.Г. Эквидозиметрический подход к оценке действия радиоактивного и химического загрязнения на природные популяции гидробионтов // Доп. Нац. АН України, 2002, №3, с. 204-208.

260. Цыцугина В.Г., Поликарпов Г.Г., Горбенко В.П. Скорость адаптации к антропогенному загрязнению популяций гидробионтов с разными репродуктивными стратегиями // Доп. Нац. АН України, 2005, №1, с. 183-187.

261. Цыцугина В.Г., Флору Х., Поликарпов Г.Г. Мультиаберрантные клетки и пикноз ядер у гидробионтов из района с повышенным содержанием естественных радионуклидов // Мор. экол. ж., 2005, 4, №1, с. 84-90.

262. Чувильский Ю.М. Кластерная радиоактивность. (Монография). Москва, Издательство Московского университета. 1997. 166 с.

263. Чанкова С.Г., Канчина В.М., Стоянова Д.П. Некоторые аспекты радиоустойчивости растений // Радиационная биология. Радиоэкология, 2000, т. 40, №5, с. 535-543.

264. Черненко Л.П. Естественный радиационный фон – фундаментальное условие существования живого вещества на планете. // Препринт, ОИЯИ. 2000, № р18-00-84. с. 1-11.

265. Чилимов А.И., Богачев А.В. Распределение и динамика ^{137}Cs в тканях древесных растений // Радиационная биология. Радиоэкология, 2000, т. 40, №2, с. 231-237.

266. Шафиркин А.В. Модель радиационной скорости смертности млекопитающих, определяющая отдаленные последствия радиационного воздействия в различных дозах // Авиакосмическая и экологическая медицина. 1999, т.23, №4, с.44-48;

267. Шашурин М.М., Журавская А.Н. Ферментативная активность почв и фотосинтез ольхи кустарниковой (*Duschecia fruticosa*) в условиях повышенного естественного радиационного фона // Тезисы докладов междунар. конферен. «Биологические эффекты малых доз ионизирующей радиации и радиоактивное загрязнение среды», Сыктывкар, 28 феврал-3 марта 2006 г. с.135

268. Шведов В.П., Петин С.А. Радиоактивность океанов и морей. М.: Атомиздат. 1968. 287 с.

269. Шевченко В.А., Кальченко В.А., Абрамов В.И., Рубанович А.В., Шевченко В.В., Гриних Л.И. Генетические эффекты в популяциях растений, произрастающих в зонах Кыштымской и Чернобыльской аварий // Радиационная биология. Радиоэкология, 1999, т. 39, №1, с. 162-176.

270. Шершунова В.И. Генетические тест-системы растений и малые дозы радиации // 2 Съезд Вавиловского общества генетиков и селекционеров. Санкт-Петербург, 1-5 февр., 2000, Тезисы докладов. Т.2, СПб, 2000, с.178-179.

271. Шершунова В.И., Попова О.Н., Кочан И.Г. Особенности выноса растениями из почвы ^{238}U и ^{226}Ra в зависимости от содержания радионуклидов в почве // Радиация как экологический фактор при антропогенном загрязнении. Сыктывкар 1984, с. 37- 43. (тр. Коми филиала АН СССР, №67).

272. Шестопалова Н.Г., Баева Е.Ю., Баева Т.И., Винокурова Л.В. Повышение устойчивости растений к высоким дозам радиации / Актуальные проблемы сохранения устойчивости живых систем: Материалы 8 Международной научной экологической конференции. Белгород. 27-29 сент., 2004. Белгород, 2004, с. 246.

273. Шехтман Я.Л., Радзиевский Б.Б., Зотников А.А., Глазунов П.Я. Закон взаимозаменяемости при биологическом действии быстрых электронов // Биофизика, 1958, т.3, вып.3, с.312.

274. Шилова Е.Н., Шилов В.Б., Донник И.М. Адаптация организма человека и животных в условиях неблагоприятной радиоэкологической обстановки // Материалы Всероссийской научной конференции «Адаптация биологических систем к естественным и экстремальным факторам среды». Челябинск, 2004, с. 269-272.

275. Шкловский И.С. Вселенная. Жизнь. Разум. М.: Наука. 1965. 284 с.

276. Шубик В.М., Колотвин В.А. Влияние малых доз инкорпорированного цезия-137 на иммунологическую реактивность // Теоретические и практические аспекты действия малых доз ионизирующей радиации. Сыктывкар. 1973. С.19.

277. Шуктомова И.И. Распределение ^{232}Th в почвах сопряженных по стоку ландшафтов. // Тр. Коми. Науч. Центра УрО РАН. 2003, №172, с.60-66.

278. Шуктомова И.И., Симонов Г.А. Радиэкология биогеоценозов с повышенным фоном естественной радиоактивности. Сыктывкар: 1987, с. 120-126.
279. Щеглов А.И., Тихомиров Ф.А. Цветнова О.Б. и др. Распределение и миграция радионуклидов в лесных экосистемах. М.: Деп. в ВИНТИ. 8.04.91, №1656-1391,176 с.
280. Щеглов А.И., Цветнова О.Б. Основные закономерности сезонной и многолетней динамики накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в древесине // Радиационная биология. Радиэкология, 2004, т. 44, №1, с. 113-117.
281. Эйдус Л.Х. О механизме индукции репарации поврежденных ДНК при действии ионизирующего излучения на клетки // Радиационная биология. Радиэкология, 2000, т. 40, №6, с.674-677.
282. Эйзенбад М. Радиоактивность внешней среды. М.: Атомиздат. 1967. 332 с.
283. Экология, охрана природы и экологическая безопасность. Под общей ред. В.И.Данилова-Данильяна. М.: МНЭПУ, 1997,743 с.;
284. Экология охраны природы и экологическая безопасность. Под ред. В.И. Данилова- Данильяна. М.: МНЭПУ, 1998. 2 кн. 266 с.
285. Юдинцева Е.В., Гулякин И.В. Агрохимия радиоактивных изотопов стронция и цезия. М.: Атомиздат, 1968, 472 с.
286. Юрин В.М., Соколик А.И., Кудряшов А.П. Регуляция ионного транспорта через мембраны растительных клеток. Минск: Навука і тэхніка, 1991. 271 с.
287. Якушев Б.И., Корсеко М.Н. Влияние природного радиоактивного фона на рост и развитие растений // Докл. Нац. АН Беларуси. 2002, 46, №1, с.69-73.
288. Airborne gamma-ray spectrometer surveying. Tech. rep. Ser. No 323 International atomic energy agency (IAEA), Vienna, 1991, 97 p.].
289. Akatov Yu. A. Some results of doze measurerements along civil airways in the USSR // Radiation Protection Dosimetry. Radiation exposure of civil aircrew. Luxemburg. 1993. Vol. 48. № 1. P. 59-63.
290. Al Hamarneh I., Wreikat A., Toukan K. Radioactivity concentrations of ^{40}K , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , ^{238}Pu and $^{239+240}\text{Pu}$ radionuclides in Jordanian soil samples // J. Environ. Radioact, 2003, 67, №1, p. 53-67.
291. Arabie M.I.E., Jawahar M., Variation in radiosensitivity of sesame (*Sesamum indicum* L.) as a function of seed water content // Seed Sci. And Technol, 2002, 30, № 2, p. 423-430.
292. Atak Cimen, Alikamanoglu Sema, Yalcin Sevil. Induced mutation and radiation sensitivity in vitro culture of soybean (*Glycine Max* L. Merrill). Turk. // J. Nucl. Sci. 1999, 26, №2, p. 69- 88.

293. Avila R., Moberg L., Hubbard L. Modelling of radionuclide migration in forestecosystems. A literature review. Swedish Radiation Protection Institute Report 98:07. Stockholm, 1988. 36 p.
294. Baker A.J.M. Accumulators and Excluders-Strategies in Response of Plants to Heavy Metals // *J. Plant Nutr.*, 1981, v. 3, p. 643-654.
295. Bernal J.D. *The orijin of life*. N.Y.: World publ. Co. 1967. 345 p.
296. Butkus D., BeinaraVICIUS R., Narmontas A. Radionuklidu migracija sistemoje "dirva- medis" // *Aplinkos inžinerija*, 2002, 10, №3, c.116-120.
297. Calvin M. *Chemical evolution*. Oxford: Clarendon press. 1969. 278 p..
298. Campos M.J. Migracio do radio do denosito de Torio do Morro do Ferio // *J. Congr. Geral Energ. Nucl. Rio de Janeiro*. 1986. P.346-350.
299. Cezvigni T., D'Amato F., Dohini B., Giaconelli M., Scarascia G.T. Some aspects of higher plants to chronic gamma-irradiation. / In: 2nd Intern.Congr. Radiation Research, Abstracts of Papers, Harrogate, England,1962, p. 183.
300. Conter A., Dupony D., Vincent C., Planel H. Radiation stimulation during the early stationary growth phase in *synechococcus lividus* and its correlation with photooxidative stress occuring before the stationary phase // *Health. Phys.* 1987. Vol. 53. №3. P. 281-286.
301. Croute F., Soleihavoup J.P. Vidal S. et al. *Paramecium tetraurelia* growth stimulation under low-level chronic irradiation: investigations on a possible mechanism // *Ibid*. 1982. Vol. 92. P. 560-567.
302. Danali S., Margomenou G., Veldek K. The radioaktivty of spas on the Greek island Ikaria and influencing faktors // *Health Phys.* 1986. Vol.50. P. 509-513.
303. Dose K., Rajewsky B. Strahlenchemische Bildung von Aminen und minocarbonsauren // *Biochim. et Biophys. Acta*. 1957. Vol. 25. P. 225-226.
304. Dzhafarov E.S. The radioecological problems created in the Absheron peninsula by the oil extracrion and production. In: *Radiation safety problems in the Caspian region*. Baku, 2003, p.50
305. Dzhafarov E. S., Aliyev L.A., Orujaliyev M.N., Samedov A.N. The study of radioecological situation in several regions of Azerbaijan // *Inter. workshop "Effect of ionizing radiation on ecological situation of countries from Caucasian region and Caspian Sea Basin"*. Baku, 2002, p. 174-176.
306. Dzhafarov E. S., Orujova J. R., Shamilov E. N. The radioecological situation in the Romani iodine fabrics area / 8th Baku Inter. Cong. "Energy, Ecology, Economy", Baku, 2005, p. 572-575.
307. Erling S. Thoron daughter to radon daughter rations in thorium-rich areas // *Helath Phys.* 1984. Vol. 47. №5. P. 784-785.
308. Enstone D.E., Peterson C.A. A Rapid fluorescence technique to probe the permeability of the root apoplast. // *Can. J. Bot.*, 1992, v. 70, p. 1493-1501.
309. Fesenko S., Spiridonov S., Avila R. Contaminated forests (Eds I. Linkov, W.R.Schell). v. 58. NATO Sci. Ser. 1999. p. 239-247.

310. Garrison W.M., Hamilton J.G., Morrison D.C. et al. The reduction of carbon dioxide in aqueous solution by ionizing radiation // *Science*. 1951. Vol. 114. P.461-462.
311. Geras'kin S., Evseeva T., Taskaev A., Shuktomova J. A comparative analysis of biological effect in plants inhabiting two Russian regions with a higher level of heavy natural radionuclides / 4 NORM (Naturally Occuring Radioactive Materials) Conference, Szczyrk, mai, 2004. Pr. Nauk. GIG. Gor. i srod. 2004, №1, p. 21-22.
312. Gezell T.F. Background atmospheric ^{222}Rn concentrations outdoors and indoors: A review // *Health Phys.* 1983. Vol. 45. P. 289-302.
313. Gostin Irina, Rugina Rodica, Toma C. Preliminary observations on the influence of ionizing rays upon some cultivated plants // *An. Sti. Univ. Iasi. Sec. 2a*. 1999, 45, c. 63-67.
314. Gudkova N.V., Kosakivska I.V. The effect of γ -irradiation on the protein synthesis in wheat / *Abstr. 11th Congress of the Federation of European Societies of Plant Physiology, Varna, 7-11 Sept. 1998. Bulg. J. Plant Physiol., 1998, Spec. issue. p. 247.*
315. Guo Jian-hui, Huang Xi-dong. Mutational selection in vitro kidneys on cuts of a banana. III. Estimation of outstanding lines of mutant posterity. *Fujian nongye daxue xuebao.* // *J. Fujian Agr. Univ.* 2001, 30, №4, c.473-476.
316. Haldane J. B.S. *Orijin of life*. L.: Penguin books. 1954. 237 c.(New bioloji. №12).
317. *Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in temperate environment*. IAEA Tech. Report Ser. №364. Vienna, 1994, 74 p.
318. Hegde A.G., Hemalatha P., Desai M.V.M. Transfer factors of radionuclides and elements in the terrestrial and fresh water environment of India // *BARC. [Rept.]*, 2004, № E/003, p. 1-17.
319. Higley K.A., Domotor S.L., Antonio E.J. A kinetic-allometric approach to predicting tissue radionuclide concentrations for biota. // *J. Environ. Radioact.* 2003, 66, №1-2, p.61-74.
320. Hoeman Soeranto, Nakanishi Tomoko M., Razzak Mirzan T. Obtaining induced mutaton of drought tolerance in sorghum // *Radioisotopes*, 2003, 52, 1, p.13-19.
321. Honda I., Kikuchi K., Saito H., Miyazawa Y., Abe T., Yoshida S. Hormesis of heavy-ion irradiation to lettuce / *RIKEN Accel. Progr. Rept.* 2003, 37, p. 149.
322. Hossain Zahed, Shukla Ratnakar, Azad Mandal Abdul Kalam, Kumar Datta Subodh. Antioxidant and radio-protection of living cells // *Caryologia*, 2003, 56, № 4, p. 483-487.
323. Jafarov E.S. The radioecological problems created in the Absheron peninsula by the oil extracion and production / *NATO Advanced Research Workshop "Radiation safety problems in the Caspian region"* Baku, 2003. P. 50.

324. Kang Xiang-Yang, Zhu Zhi-Ti Lin Hui-Bin. Radiosensitivity of pollen of a poplar different crop and usage from it. // *Yichuan xuebao Acta genet Sin.* 2000, 27, №1, p. 78-82.
325. Kaufman S., Libby W.F. The natural distribution of tritium // *Phys. Rev.* 1954. Vol. 93. P. 1337-1344.
326. Ko S., Aoki T., Ohnishi H., Takada J., Katayama Y. Distribution and circulation of radionuclides originating from fallout in a forest. // *J. Radioanal. and Nucl. Chem.*, 2003, 255, №2, p. 347-349.
327. Kobaladze M., Chankseliani Z., Influence of gamma irradiation on efficiency and chemical parameters of fruits of peach. // *Radiation research.* 2001, 9, №2, c. 58-61.
328. Kocjan G., Samardakiewicz S., Wozny A. Regions of Lead Uptake in Lemna minor Plants and Localization of This Metal Within Selected Parts of the Root. // *Biol. Plant.* 1996, v. 38, p. 107-117.
329. Kolb W.A. // *III Inter. Symp. Proc.: Radiol. Prot. Adv. Theory and Pract. Berkley.* 1982. Vol. 1. P. 132-137..
330. Koseki Paula M., Villavicencio Anna Lucia C.H., Brito Monica S., Nahme Ligia C., Sebastiao Katia I., Rela Paulo R., Almeida-Muradian Ligia B., Mancini-Filho Jorge, Freitas Paulo C.D. Effects of irradiation in medicinal and eatable herbs. [12 International Meeting on Radiation Processing (IMRP), Avignon, 25-30 March, 2001] // *Radiat. Phys. And Chem.* 2002, 63, № 3-6, p. 681-684.
331. Kovacs E., Keresztes A. Effect of gamma and UV-B/C radiation on plant cells // *Micron*, 2002, 33, №2, c. 199-210.
332. Kramer U., Pickering I.J., Prince R.C., Raskin I., Salt D.E. Subcellular Localization and Speciation of Nickel in Hyperaccumulator and Non-Accumulator *Thlaspi* Species // *Plant Physiol*, 2000, v. 122, p. 1343-1353.
333. Ksiazek M., Wozny A. Lead Movement in Poplar Adventitious Roots // *Biol. Plant.* 1990. v. 32. p. 54-57.
334. Kumar Sunil, Kumar Santosh, Singh B., Singh virendra, Jatav A.L., Kumar Sanjay. Influence of gamma irradiation of seed on growth, sex-expression and yield in sponge gourd (*Luffa cylindrica* L.) // *Plant Arch.* 2002, 2, № 2, c. 225-227.
335. Lehmann H., Stelzer R., Holzamer S., Kunz U., Gierth M. Analytical Electron Microscopical Investigations on the Apoplastic Pathways of Lanthanum Transport in Barley Roots // *Planta*, 2000, v. 211, p. 816-822.
336. Lindahi T., Sedgwick B., Sektguchi M., Nakabeppu Y. Antioxidant Status of Plantain // *Ann. Rev. Biochem.*, 1988, v. 57, № 1, p. 133-157.
337. Lubyte Jadvyga, Antanaitis Antanas. Migratio of radionuclides in arable land of Lithuania // *J. Environ. Eng. And Landscape Manag*, 2004, 12, №1, p. 22-29.
338. Luckey T.D., Johnson W., Krueger S. et al. Ionizing radiation is required for optimum reproduction in *Paramecium bursaria* // *Bacteriol. Abstr.* 1978. Vol. 1978. P. 94-95.

339. Luxin Wei. *Aspects of environmental radiation and dosimetry concerning the high background radiation area in China* // *J. Radiat. Res.* 1981. Vol 22. P. 88-100
340. Matsue N., Wada K. *Interlayer materials of partially interlayered vermiculites in Dystrocyrepts derived from tertiary sediments* // *J. Soil Sci.* 1988, v.39, №2, p. 155-162.
341. Massingill G. L. *Uranium indicator plants of the Colorado plateau* // *N.Mex. Geol.* 1979. Vol. 1. P.49-52.
342. Mc Gregor R.G., Gourgon I.A. *Radon and radon daughters in homes utilizing deep well. water supplies* // *J. Environ. Sci. Health.* 1980. Vol. 15. P. 25-35.
343. Miller S., Urey H. *Organic compound synthesis on the primitive earth* // *Science.* 1959. Vol. 130. P. 245-250.
344. Montagne C., Donne J.P., Peliot D., et al. *In – flight radiation measurement aboard french airlines* // *Radiation Protection Dosimetry. Radiation exposure of civil aircrew.* Luxemburg. 1993. Vol. 48. № 1. P. 79-83.
345. Morton L.S., Evans C.V., Harbottle G., Estes G.O. *Pedogenic fractionation and bioavailability of uranium and thorium in naturally radioactive spodosols* // *Soil Sci. Amer. J.*, 2001, 65, № 4, c.1197-1203.
346. Morton L.S., Evans C.V., Estes G.O. *Natural uranium and thorium distributions in podzolized soils and native blueberry* // *J. Environ. Qual.*, 2002. 31, 1, c.155-162.
347. Mukandama J.P., Gonzalez Maria C. *Radiaciones gamma ^{60}Co en la induccion de variabilidad en rendimientos de tomaten (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones de estres hidrico* // *Alimentaria*, 2002, 39, № 338, c. 125-128.
348. Myrick T.E., Berwan B.A., Hay Wood F.F. *Determination of concentration of selected radionuclides in surface soil in the US* // *Health Phys.* 1983. Vol.45. P. 631-642.
349. Nagata Toshifumi, Todoriki Setsuko, Hayashi Toru, Shibata Yurike, Kanegae-Kajiya Hiromi, Komatsu Setsuko, Morik Masaki, Kikuchi Shoshi. *Analyses of the signal transduction mechanism of the responses to the gamma irradiation in Arabidopsis thaliana* / *Pap. Annual Meeting and Symposia, Kyoto, March 28-30, 1999.* *Plant and Cell Physiol.* 1999, 4, Suppl, p. 76.
350. Navas A., Soto J., Machin J. ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th and ^{40}K activities in soil profiles of the Flysch sector (Central Spanish Pyrenees) // *Appl. Radiat. and Isotop.* 2002. 57. № 4. p. 579-589.
351. Oro J. *Synthesis of organic compounds by electric discharge* // *Nature.* 1963. Vol. 197. P. 862-864.
352. Orujova J. R., Dzhafarov E. S. *Biological influence of low dosage of radiation* // 9th *Baku Inter. Cong. "Energy, Ecology, Economy"*, Baku, 2005, p. 290-292.
353. Orujova J.R., Dzhafarov E.S. *Impact of Incorporated Natural Radionuclides to Biosynthesis of chlorophylls and carotenoids* / *The 35th Annual meet. of the European Radiation Research Society.* Kyiv, 2006, p.100.

354. Orujova J. R., Dzhafarov E.S. Seasonal dependence of pigments number in alhagi pseudalhagi leaves forming in conditions of high radiation phone / The fourth Eurasian conf. on "Nuclear science and its application", Baku, 2006, p. 124.

355. Orujova J.R., Azizov I.V., Dzhafarov E.S. Investigation of influence of the small radiation dozes on the biosynthesis of green pigments and carotenoids at the different forms of plants / Inter. Conf. Biorad -2006 " Biological effects of low dose ionizing radiation and radioactive pollution on environment", Syktyvkar, 2006, p. 109-110.

356. Outila I., Pehrman R., Jaakkola T. Effect of industrial pollution on the distribution of ¹³⁷Cs in soil and the soil-to-plant transfer in a pine forest in SW Finland // *Sci. Total Environ.* 2003, 303, №3, p. 221-230.

357. Palm C., Calvin M. Primordial organic chemistry // *J. Amer. Chem. Soc.* 1962. Vol. 84. P. 2115-2122.

358. Penna – Franca E., Julia C.M. Radium mobilization and transport at a large Thorium are depozit in Brazil // *Health Phys.* 1984. Vol. 47. P. 202-209.

359. Perez Talavera S. Influencia del genotipo y del tiempo entre los fracciones de las dosis de radiaciones sobre la radiosensibilidad de la soya // *Alimentaria*, 2000, 37, №311, p. 69-71.

360. Perez Talavera Susana. Studio de la radiosensibilidad gamma de habichuela China (*Vigna sesquipedalis*) // *Alimentaria*, 2002, 39, № 336, p. 45-47.

361. Perez Talavera Susana, Gonzalez Nunez Luis Manuel. Influencia del fraccionamiento de la dosis sobre la radiosensibilidad en ajo (*Allium sativum* L.) // *Alimentaria*. 2002, 39, №336, p. 37-39.

362. Perez Talavera Susana, Tabares Francisco Perez, Guerra Izquierdo Mayra, Gonzalez Nunez Luis Manuel, Perez Yadira Munoz, Diaz Esquivel Raimundo M. Tabla de radiosensibilida gamma de variedades de especies vegetales de importancia economica // *Alimentaria*, 2002, 38, №329, p. 85-87.

363. Persans M.W., Nieman K., Salt D.E. Functional Activity and role of cation-efflux Family members in Ni Hyperaccumulation in *Thlaspi goesingense* // *Proc. Natl. Acad. Sci. USE.* 2001, v. 98, p.9995-10000.

364. Peterson T.A., Swanson E.S., Hull R.J. Use of Lanthanum to Apoplastic Solute Transport in Intact Plants // *J. Exp. Bot.*, 1986, v. 37, p. 807-822.

365. *Phytoremediation of Toxic Metals Using Plants to Clean Up the Environment.* Ed: Raskin I., Ensley B. et al.: J. Wiley and Sons, 2000, 304 p.

366. Planel H., Soleilhavoup J.P., Tixador R. Recherches sur l "action des radiations ionisantes naturelles sur la croissance d"etres unicellulaires // *C.R. Acad. Sci.*,1965. Vol.260. P.3770- 3775.

367. Planel H., Soleilhavoup J.P., Tixador R. Biological effekts of natural ionizing radiation on living cells // *Intern. Congr. Radiat. Res.: Book Abstr. Cortina D"Ampezzo.* 1966. № 708. P. 178.

368. Planel H., Soleilhavoup J.P., Tixador R. *Effects de tres faibles doses de radiations ionisantes sur la multiplication de Paramecium aurelia* // C.R. Acad. Sci., 1967. Vol.264. P.2945- 2951.
369. Planel H., Soleilhavoup J.P., Liess M., Tixador R. *Evidense of action of natural ionizing radiation of the reproduction of Dr. Melanogaster* // C. R.Assoc. Anat. 1968. Vol. 139. P. 1031-1039.
370. Planel H., Soleilhavoup J.P., Cottin F. et al. *Etude de la croissance de Paramecium aurelia et P. Caudatuin en laboratoire Souterrain* // C.R. Acad. Sci., 1969. Vol.269. P.1697 - 1701.
371. Ponnampereuma C. *The rol of radiation action in primordial organic synthesis* // *Radiation research* / Ed. G. Silini. Amsterdam. 1967. P. 700 - 713.
372. Prister B.S., Belli M., Sanzharova N.I. et. al. // *The radiological consequences the Chernobyl accident: Proc. Ist. Int. conf. Minsk, Belarus, 18-22 March 1996*. Eds A.Karaoglou, G. Desmet, G.N. Kelly, H.G. Menzel. Luxemburg, 1996. p. 59-68.
373. Rauret G., Alexakhin R.M., Kruglov S.V. et al. *The radiological consequences of the Chernobyl accident*. Eds A. Karaoglou et al. N.Y.: Elsevier App. Sci., 1996, p. 81-96.
374. Sadasivan S., Shukla V.K., Chinneasakki S., Sartandel S.J. *Natural and fallout radioactivity measurement in Indian soils*. // *J. Radioanal. and Nucl. Chem.*, 2003, 256, №3, p. 603-607.
375. Sakaguchi T., Horikoshi T., Nakajima A. *Uptake of uranium from sea water by microalge* // *J. Ferment. Technol.* 1978. Vol 56. P. 561-565.
376. Sarric Y.G. *Effects of ionizing radiations on seeds.*, Vienna: 1961, p.103..
377. Southworth A., Siccama T.G. *The fate of lead and other trace metals* // *New England Soils. Belowground ecology*, 1991, v.2, p. 10-12.
378. Stoklaza J. *Der Mechanismus der physiologischen Wirkung der Radiumemation auf dem Wachstunsprozess der Pflanzen* // *Biochem. Ztschr.* 1920. Bd. 108. S. 109-119.
379. Theiss H. B. *Localisation of Lead in Seedlings of Lepidium sativum* // *Sci. Tech. Inform.*, 1990, v. 9, p. 246-252.
380. Tung G., Temple P.J. *Uptake and Localization of Lead in Corn (Zea mays) Seedlings, a Study by Histochemical and Electron Microscopy* // *Sci. Total. Environ*, 1996, v. 188, p. 71-85.
381. Ugur A., Sac M.M., Yener G., Altinbas U., Kurucu Y., Bolca M., Ozden B. *Vertical distribution of the natural and artificial radionuclides in various soil profiles to investigate soil erosion* // *J. Radioanal. And nucl. Chem.* 2004, 259. №2, p. 265-270.
382. Vassilevska-Ivanova R., Tsekova Z., Lidansky T. *Response of sunflower plants (Helianthus annuus L.) to gamma –irradiation* // *Докл. Бълг. АН.* 2000, 53, №3, p. 95-98.

383. Wang Rui-lan, Yi Sun, Wang Ying, Chen Kang-gui, Cai Zhen-min, He Wein-xing. Influence of traces of uranium on speed germination and activity catalysis in sprouts of fig. *Nongye huanjing kexue xuebao // J. Agro-Environ. Sci.*, 2004, 23, №2, c. 221-223.

384. Woodhead D.S. A possible approach for the assessment of radiation effects on populations of wild organisms in radionuclide-contaminated environments // *J. Environ Radioact.* 2003, 66, №1-2, c. 181-213.

385. Wrenn M.E., Dubrin P.W., Howard B. et. al. Metabolism of ingested U and Ra // *Health Phys.* 1985. Vol 48. P. 601-633.

386. Yoshioka Toji, Ito Yuji, Masuda Tetsuo. Induction of mutant resistant to *Alternaria blotch* of apple by gamma-ray irradiation // *Gamma Field Symp.* 2000, №39, p. 69-79.

387. Zaka R., Chenal C., Missset M.T. Study of external low irradiation dose effects on induction of chromosome aberrations in *Pisum sativum* root tip on induction of chromosome aberrations in *Pisum sativum* root tip meristem // *Mutat. Res. Genet. Toxicol. And Environ. Mtagen.* 2002, 517, №1-2, c. 87-99.

388. Zhou Li-ren, Wu Xue-qin, Wei Xiao-fei, Li Bu-qing. Cytologic influence of radiation ^{60}Co on seeds *Hibiscus cannabinus* and *Cannabis sativa* *Anhui nongye daxue xuebao // J. Anhui Agr. Univ.*, 2003, 30, №1, c.10-14.

FƏSİL I. RADİASIYA BİOLOGİYASI VƏ ONUN TARİXİ	
İNKİŞAF MƏRHƏLƏLƏRİ	5
FƏSİL II. RADIOAKTİVLİK HADİSƏSİ	20
2.1. Radioaktivliyin kəşfi	20
2.2. Atom nüvəsinin xüsusiyyətləri	22
2.3. Radioaktiv şüaların təbiəti	24
2.4. Radioaktivliyin növləri	25
2.4.1. α - parçalanma	26
2.4.2. β -çevrilmə	27
2.4.3. γ -şüalanma	29
2.4.4. Neytron şüalanması	30
2.4.5. Bir protonlu və iki protonlu radioaktivlik	31
2.4.6. Klasterli radioaktivlik	32
2.4.7. Ağır nüvələrin sponton bölü.....	32
2.5. Radioaktiv parçalanma qanunu	33
2.6. Radioaktiv parçalanma sıraları	36
2.6.1. Uran (uran-radium) sırası	36
2.6.2. Torium sırası	38
2.6.3. Aktinium sırası	38
FƏSİL III. RADİASIYA DOZİMETRİYASI	43
3.1. Bəzi radiobioloji anlayışlar və onların vahidləri	43
3.1.1. Aktivlik	43
3.1.2. Şüalanmanın udulma dozası	43
3.1.3. Şüalanmanın ekspozisiya dozası	45
3.1.4. Ekvivalent doza	48
3.1.5. Effektiv ekvivalent doza. Toxumaların çəki əmsalları	53
3.1.6. Kollektiv effektiv ekvivalent doza	54
3.2. Ümumi radiobioloji anlayışların qısa xülasəsi	55
3.3. Şüalanmanın yolverilən doza həddi və radiasiyanın gücü	56
3.4. İonlaşdırıcı şüalanmanın növləri	59
FƏSİL IV. RADİASIYA SƏVİYYƏSİNƏ NƏZARƏT ÜSULLARI	63
4.1. İonlaşdırıcı şüalanmanın qeydə alınmasının fiziki əsasları	63
4.2. İonlaşdırıcı şüalanma detektorlarının əsas parametrləri	65
4.3. İonlaşdırıcı şüalanmanın qeydə alınma üsulları	65

4.3.1. Çerenkov sayğacı	65
4.3.2. Vilson kamerası	66
4.3.3. Qabarcıqlı kamera	66
4.3.4. Fotoemulsiya üsulu	67
4.3.5. Kimyəvi üsullar	67
4.4. Detektorlar. İonlaşdırıcı şüalanmanı qeydə alan sayğaclər	68
4.4.1. Qaz ionlaşdırıcı detektorlar	68
4.4.2. Ssintilyasiya detektorları. Ssintilyasiya sayğaclər	72
4.4.3. Ssintilyasiya γ -spektrometrləri	76
4.4.4. Ssintilyasiya β -spektrometrləri. Maye ssintilyatorlar. Zərrəciklərin həyəcanlanmasına əsaslanmış qeydəalma üsulları	82
4.4.4.1. Maye ssintilyasiya sayğaclərində radioaktiv preparatların hazırlanması və radioaktivliyin qeydə alınması qaydaları. Bioloji preparatların solibilizə edilməsi	84
4.4.4.2. Maye ssintilyatorlar. Dioksan əsaslı ssintilyatorlar...	85
4.4.5. Yarımkəçirici sayğaclər	85
4.5. Neytronların qeydə alınma üsulları	88
4.5.1. Neytronların qeydə alınması üsulları haqqında ümumi təsəvvürlər	88
4.5.2. Kiçik enerjili və istilik neytronları sayğaclər	89
4.5.3. Sürətli neytronlar sayğacı	90
4.6. Radiasiya nəzarəti cihazları	90
4.6.1. İndikatorlar	90
4.6.2. Rentgenmetrlər	91
4.6.3. Dozimetrlər	91
4.6.4. Radiometrlər	94
4.6.5. Əhalinin istifadəsi üçün nəzərdə tutulmuş məişət dozimetrləri	95
FƏSİL V. TƏBİİ RADİASİYA MƏNBƏLƏRİ	100
5.1. Kosmik mənşəli təbii şüalanma mənbələri	103
5.1.1. İlkin kosmik şüalanma	104
5.1.2. İkinci kosmik şüalanma	114
5.2. Yer mənşəli radioaktiv şüalanma mənbələri	117
5.2.1. Yer qabığının radiyasiyası	117
5.2.2. Radon qazı şüalanması	133
5.2.3. Daxili şüalanmada ayrı-ayrı radionuklidlərin payı	150
FƏSİL VI. TEXNOGEN (ANTROPOGEN) MƏNŞƏLİ RADİASİYA MƏNBƏLƏRİ	157

6.1. Peşə fəaliyyəti ilə bağlı şüalanma mənbələri	158
6.1.1. Atom enerjisindən dinc məqsədlər üçün istifadə ilə bağlı şüalanma mənbələri	161
6.1.2. Nüvə partlayışlarının yaratdığı şüalanma mənbələri	169
6.1.3. Təbabətdə istifadə olunan şüalanma mənbələri	177
6.1.4. Digər radioaktiv şüalanma mənbələri	180
6.2. Geopatogen zonalarla bağlı şüalanma mənbələri	195
FƏSİL VII. TƏBİİ RADİASIYA FONU	198
7.1. Təbii radiasiya fonu və Yer biosferi üçün onun əhəmiyyəti	198
7.2. Yerin biosferinin yaranmasında və təkamülündə təbii radiasiya fonunun əhəmiyyəti	200
7.3. Təbii radiasiya fonunun orqanizmlərin normal böyümə və inkişafında rolu	205
7.4. Yüksək radiasiya fonunun biota əlverişli təsiri	208
FƏSİL VIII. RADİASIYANIN BİOLOJİ TƏSİRİ	210
8.1. Radiasiyanın insan orqanizminə təsir effektləri	210
8.2. Radiasiyanın insan orqanizminə təsirinin xüsusiyyətləri	213
8.3. Radiasiyanın insan orqanizminin immun sistemə təsiri	218
8.4. Şüalanmanın uzaq təsirləri	219
8.5. Şüalanmanın genetik nəticələri	225
8.6. Radonun və onun parçalanma məhsullarının bioloji təsiri	230
8.7. Radiasiyanın bioloji təsir mexanizmi haqqında	232
8.8. Radiobiologiyada kiçik dozalı radiasiya problemi	235
8.8.1. Kiçik dozalı radiasiyanın stimullaşdırıcı təsiri	237
8.8.2. Radiohəssaslıq problemi	239
8.8.3. Kiçik dozalı radiasiyanın təsirinin uzaq nəticələri	240
8.8.4. Kiçik dozalı radiasiyanın fotosintez prosesinə təsiri	243
FƏSİL IX. MÜXTƏLİF RADİONUKLİDLƏRİN TORPAQDA VƏ “TORPAQ -BİTKİ” ZƏNCİRİNDƏ MİQRASIYA XÜSUSİYYƏTLƏRİ	250
9.1. Radionuklidlərin torpaqda miqdarı	250
9.2. Radionuklidlərin bitkilərə və onların ayrı-ayrı orqanlarına keçmə xüsusiyyətləri	255
9.3. Ərazini çirkləndirən radionuklidlərin torpaqdan ərazidə formalaşan bitkilərə keçmə əmsallarının təyini	263
9.4. Radionuklidlərin torpaqdan bitkilərə keçməsinin riyazi modeli	270
FƏSİL X. RADİOAKTİVLİK VƏ ONUN YARATDIĞI EKOLOJİ PROBLEMLƏR	272
10.1. Ətraf mühitin radioaktiv tullantılarla çirklənmə	272

10.2. Atom enerjisi sənayesinin ekoloji problemləri	274
10.3. Atom elektrik stansiyalarında qəzalar	277
10.4. Çernobil fəlakətinin global nəticələri	278
10.4.1. Çernobil “sarkofaqı” bu gün	280
10.4.2. Çernobildən yeni bir zərbə	281
10.4.3. “Ölü zonadan” xəbərlər	281
10.4.4. Qəzanın min illiyə uzanan tibbi nəticələri	282
10.5. Nüvə silahlarının bilavasitə istifadəsinin və onların sınaqdan keçirilməsinin yaratdığı ekoloji problemlər	283
10.6. Atom sualtı qayıqlarında qəzalar	285
10.7. Radioaktiv tullantıların basdırılması problemi	287
10.7.1. Dəniz və okeanların dibində basdırılma	288
10.7.2. Duz çöküntülərində basdırılma	289
10.7.3. Geoloji basdırma	289
10.7.4. Plutonium problemi	289
10.8. İşlənmiş nüvə yanacağıının emalı və onun perspektivləri	290
10.9. Atom energetikasına alternativ yoxdur	291
ƏDƏBİYYAT	293

Elimxan Süleyman oğlu Cəfərov

RADİOBİOLOGİYA

“ELM” REDAKSIYA-NƏŞRİYYAT VƏ
POLİQRAFIYA MƏRKƏZİ

Direktor: **Hafiz Abiyev**

Çapa imzalanmışdır 15.09.2014 .
Formatı: 70 x 100 1/16. Həcmi 26.6 ç. v.
Tirajı: 300 nüsxə. Sifariş № 61

“ELM” RNPM –in mətbəəsində çap olunmuşdur
(istiqlaliyyət, 28) .

Cəfərov Elimxan Süleyman oğlu 9 aprel 1955 -ci ildə Qərbi Azərbaycanın (sonradan Ermənistan SSR adlandırılan) Kalinino rayonunun Soyuqbulaq kəndində ziyalı ailəsində anadan olmuşdur. O, 1972 -ci ildə orta məktəbi qızıl medalla bitirərək, Azərbaycan Dövlər Universitetinin fizika fakültəsinə daxil olmuş və 1977 -ci ildə həmin fakültəni əla və yaxşı qiymətlərlə bitirmişdir.



Üçillik pedoqoji fəaliyyətdən sonra Azərbaycan SSR Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunda elmi fəaliyyətə başlamış, 1981 – ci ildən isə SSRİ EA -nın Moskva şəhərində yerləşən, Nobel mükafatı laureatı N.N. Semyonovun rəhbərlik etdiyi Kimyəvi - Fizika İnstitutunda əvvəlcə təcrübəçi-tədqiqatçı, sonra isə aspirant olmuşdur. Həmin illərdə SSRİ EA -nın akademiki V. İ. Qoldanskiyin rəhbərliyi altında qan plazmasının əsas zülallarından olan albuminin fəza quruluşunun tədqiqi ilə məşğul olmuşdur. Tritiumla nişanlama metodunun tətbiqi tədqiqatçıya, ilk dəfə olaraq, molekulun səth sahəsini, polipeptid zəncirin bükülmə və molekulun səthinin kələ - kötürlük əmsallarını müəyyən etməyə imkan vermişdir. Tədqiqatçı- alim həmçinin zülal molekulunun səthində “hidrofob ciblərin” olması ideyasının ilk dəfə təcrübə təsdiqini verə bilmiş, makromolekulu intakt domenlərə bölməklə, həm domenlərarası əraziləri tətqiq etmiş, həm də riyazi hesablama yolu ilə molekulunu təşkil edən domenlərin sayını müəyyənləşdirmişdir.

Tədqiqat işlərinin nəticələrinə görə 01.04.17 -“Kimyəvi fizika” ixtisası üzrə kimya elmləri namizədi (1986, Moskva ş.) və 03.00.02 – “Biofizika” ixtisası üzrə biologiya elmləri doktoru (2004, Bakı ş.) elmi dərəcələri almışdır.

E. S. Cəfərov AMEA - nın Radiasiya Problemləri İnstitutunun Radiobiologiya laboratoriyasının müdiri, “Radiobiologiyanın müasir problemləri” üzrə Beynəlxalq Şüranın üzvüdür. Əsas fəaliyyət istiqaməti radiobiologiya və radioekologiya sahələridir. Bu sahədə E.S.Cəfərovun rəhbərliyi ilə Abşeron yarımadasının radionuklidlərlə lokal çirklənmə zonalarından birində (Romanı yod zavodunun ərazisində) radionuklidlərin keyfiyyət və kəmiyyət tərkibi müəyyənləşdirilmiş, onların həm torpağın ayrı - ayrı profilləri üzrə, həm də üfiqi müstəvidə yayılma arealları və “torpaq - bitki” zənciri üzrə miqrasiya xüsusiyyətləri öyrənilmişdir. Həmçinin də ərazini çirkləndirən radionuklidlərin yaratdığı ionlaşdırıcı şüalanmanın xroniki təsir şəraitində yabanı halda formalaşmış ot bitkilərinin biomorfoloji və reproduktivlik xüsusiyyətləri, bu şəraitə həssas olan fotosintez prosesi və bitkilərin antioksidant müdafiə sisteminin fəaliyyəti tədqiq edilmişdir.

E.S.Cəfərov həm də Sumqayıt Dövlət Universitetində müəllimlik fəaliyyəti ilə məşğuldur. O, Universitetin “Ekologiya və Təbiətdən İstifadə” kafedrasının professorudur. 140 - ə qədər elmi məqalənin, 2 müəlliflik şəhadətnaməsinin, 2 monoqrafiyanın və 2 dərs vəsaitinin müəllifidir.

1983 - cü ildə SSRİ EA - nın Kimyəvi - Fizika İnstitutunun (Moskva ş.) gənc alim və aspirantlarının müsabiqəsinin qalibi (II yer), 1984 -cü ildə Ümumittifaq Lenin Kommunist Gənclər İttifaqının Moskva şəhəri üzrə gənc alim və aspirantların arasında keçirdiyi müsabiqənin qalibi (III yer) olmuşdur.

2005-ci ildə biologiya elmləri sahəsində xidmətinə görə AMEA –nın Rəyasət Heyətinin Fəxri Fərmanı ilə təltif olunmuşdur.